

Análise da distribuição dos tratamentos de superfície em embalagens de vidro

João Manuel Sabino Guedes Barroco de Melo

Dissertação de Mestrado

Orientador na FEUP: Prof.^a Teresa Margarida Guerra Pereira Duarte

Orientador na BA Vidro: Eng.^o Paulo Jorge Moço de Sá



Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

2017-06-23

“If you're going to try, go all the way. Otherwise, don't even start.”

Charles Bukowski, em Factotum

Resumo

A presente dissertação surge na necessidade de se realizar um estudo quanto aos tratamentos de superfície efetuados em embalagens de vidro numa empresa da indústria vidreira. Esta necessidade surge da reclamação por parte de um cliente, no qual o produto apresenta defeito maioritariamente a nível estético, neste caso riscos, num fenómeno conhecido como *scuffing*.

Neste documento são apresentadas fundamentações teóricas sobre este fenómeno, tal como dos revestimentos e testes realizados. É ainda descrito o processo produtivo de uma embalagem de vidro, sendo feita também uma explicação sobre o que é a qualidade e como é feito o seu controlo.

São feitos diversos testes de modo a caracterizar a distribuição dos tratamentos nas garrafas e de que modo estes são afetados por variações nos seus parâmetros de deposição.

O projeto foi realizado ao longo de 4 meses e incidiu na garrafa “cava”, garrafa de champanhe, que apresenta este problema de *scuffing* ao chegar ao cliente. A garrafa durante o período de estudo só foi produzida durante um período de aproximadamente 2 meses.

No final do projeto concluiu-se que existe uma distribuição muito heterogénea dos revestimentos nas garrafas, sendo a variabilidade muito grande mesmo em garrafas que são produzidas e revestidas nas supostas, mesmas condições.

Distribution analysis of surface treatments on glass containers

Abstract

The following dissertation arises from the need to carry out a study on the surface treatments carried out in glass containers in a glass industry company. This need arises from the complaint by a customer, in which the product is mostly defective in terms of aesthetics, in this case scratches, in a phenomenon known as scuffing.

In this document, theoretical foundations on this phenomenon are presented, such as the coatings and tests carried out. The production process of a glass container is also described and an explanation is also made as to what quality is and how its control is done.

Several tests are made to characterize the distribution of the coatings in bottles and in which way these are affected by changes in their deposition parameters.

The project was carried out over 4 months and focused on the bottle “cava”, champagne bottle, that presents this problem of scuffing when arrives to the client. The bottle during the study period was only produced during a period of approximately 2 months.

At the end of the project it was concluded that there is a very heterogeneous distribution of the coatings in the bottles, the variability being very high even in bottles that are produced and coated in the supposed same conditions.

Agradecimentos

Primeiramente gostaria de agradecer a todos as pessoas da BA Vidro que me ajudaram e ensinaram ao longo destes meses, foram importantes no meu desenvolvimento a nível profissional e pessoal ao longo do projeto.

À Professora e Engenheira Teresa Duarte, pelo seu apoio, sugestões e orientação ao longo de todo o projeto.

Ao Engenheiro Paulo Sá e Engenheiro Marco Marques, meus orientadores na Empresa, que sempre me guiaram e motivaram de modo a que o projeto ganhasse vida e corpo.

Aos Engenheiros Ana Ferreira, Hélder Barbosa, Hélder Sanches, Hugo Gonçalves e Pedro Barros pela disponibilidade que demonstraram sempre em ajudar em todas as fases do estágio.

Ao Engenheiro Ramiro do CETRIB onde se realizaram os testes de rugosidade.

Aos Professores Hugo Fernandes e Susana Olhero da Universidade de Aveiro por ter contribuído com algumas sugestões para o trabalho realizado.

À Andreia Guedes, Roberto Oliveira e Samuel Vasconcelos estagiários comigo durante o projeto, agradeço a camaradagem e convivência bem como a boa-disposição. Tornaram ainda melhores os dias passados na Empresa.

A todos os meus amigos que sempre contribuíram com o seu conhecimento e opinião, e que me ajudaram a formar como pessoa e coletivamente. Em especial ao Bruno Paulo, Catarina Gomes, Daniel Braga, João Pinho, José Garcia, Nils Alves, Pedro Saraiva, Simão Ribeiro, Ricardo Gouveia e Vítor Mesquita um muito obrigado pela vossa presença na minha vida académica e fora dela.

Quero agradecer à minha família, as pessoas mais importantes da minha vida e que sempre me apoiaram incondicionalmente. Principalmente aos meus pais e o meu irmão um muito obrigado, devo-vos tudo.

Por fim, agradeço ao projeto NORTE-01-0145-FEDER-000022-SciTech-Science and Technology for Competitive and Sustainable Industries, co-financiado pelo Programa Operacional Regional do Norte (NORTE2020), através Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER).



Índice de Conteúdos

1	Introdução	1
1.1	Indústria Vidreira	2
1.2	Apresentação da Empresa	2
1.3	Contextualização do Projeto na BA Vidro, S.A.	4
1.4	Metodologia Seguida no Projeto	6
1.5	Estrutura da Dissertação	6
2	Enquadramento teórico	7
2.1	Vidro	7
2.2	<i>Scuffing</i>	7
2.3	Tratamento de Superfície a Quente	8
2.4	Tratamento de Superfície a Frio	10
2.5	Ensaio de Resistência ao Risco	13
2.6	Rugosidade	13
2.6.1	Método de Interferência Ótica	14
3	Descrição do Processo Produtivo	16
3.1	Processo Produtivo	16
3.2	Qualidade	24
3.2.1	Tipos de Defeitos	25
3.3	Principais Problemas Encontrados	26
3.3.1	Escolha da Linha Piloto	26
3.3.2	Objetivos Iniciais	27
4	Desenvolvimento do Projeto	28
4.1	Testes de Rugosidade	28
4.1.1	Definição de Amostras	29
4.1.2	Resultados e Discussão	29
4.2	Análise dos fatores que influenciam a distribuição dos tratamentos	32
4.2.1	Definição de parâmetros que influenciam o TSF	32
4.2.2	Metodologia	34
4.2.3	Codificação e recolha de valores das Amostras	35
4.2.4	Distribuição do TSQ	36
4.2.5	Distribuição do TSF	38
4.2.6	Teste de Resistência ao Risco	39
4.2.7	Ângulo de Deslize	40
4.2.8	Continuidade das Bombas Doseadoras	41
5	Conclusões e perspectivas de trabalho futuro	43
	Referências	45
ANEXO A:	Produção de vidro por setor na União Europeia	47
ANEXO B:	Rugosidade média das amostras medidas	48
ANEXO C:	Imagens dos testes de rugosidade	49
ANEXO D:	Distribuição do CTU com a altura da garrafa em 10 pontos	58

Siglas

AGR – *American Glass Research*

AV – Avintes

BA – Barbosa e Almeida

CTU – *Coating Thickness Unit*

CV – Coeficiente de Variação

CVD – *Chemical Vapour Deposition*

DEMec – Departamento de Mecânica

IS – Individual Section

LM – Linha Média

MIL – Máquinas de Inspeção em Linha

MF – Molde Final

MP – Molde de Principiar

NNPB – *Narrow-Neck-Press-and-Blow*

O-I - *Owens-Illinois*

PS – Prensado-Soprado

SS - Soprado-Soprado

TIR – Temperatura Inferior de Recozimento

TSF – Tratamento de Superfície a Frio

TSQ – Tratamento de Superfície a Quente

TSR – Temperatura Superior de Recozimento

Índice de Figuras

Figura 1- Localização das unidades fabris do grupo BA (Fonte BA adaptado).....	3
Figura 2 – Garrafas e respectivas cores disponíveis na BA (Fonte BA adaptado)	3
Figura 3 – Unidade fabril de Avintes (Fonte BA adaptado).....	4
Figura 4 – Garrafa “Cava” (Fonte BA)	5
Figura 5 – <i>Scuffing</i> na garrafa (Reclamação do cliente).....	6
Figura 6 – Scuffing ao longo de vários ciclos de uso das garrafas (ISOTECH ASC Wax 2013)	8
Figura 7 - Máquina IS (<i>Individual Section</i>) (Fonte BA)	9
Figura 8 – Princípios do CVD (Bourhis 2008).....	9
Figura 9- Exemplificação do processo de deposição do TSQ (Fonte BA Vidro)	9
Figura 10- Aparelho de medição do TSQ.....	10
Figura 11 - Pistolas de aplicação do TSF	11
Figura 12 – Esquema da deposição do TSF no top e sob o tapete (Fonte BA).....	11
Figura 13 – <i>Tilt Table</i> usada no laboratório para medição de ângulos de deslize.....	12
Figura 14 – Exemplo de aplicação do pó de alumínio para identificação de filmes orgânicos	12
Figura 15 - Máquina de teste de resistência ao risco (Fonte Arkema)	13
Figura 16 – Esquema do interferómetro tridimensional com a objetiva de interferência de Mirau (Tavares 2004)	15
Figura 17 - Processo Produtivo (Alves 2012).	16
Figura 18- Ciclo de vida do vidro (Fonte BA Vidro).....	17
Figura 19 - Representação esquemática de um forno (Fonte BA Vidro)	18
Figura 20 - Formação de gota (Bourhis 2008)	18
Figura 21 - Esquema Representativo dos Fornos e Linhas da Unidade Industrial de Avintes (Sanches 2015)	19

Figura 22 - Processo Prensado-Soprado: (a) Caída da gota, (b) Compressão do párison, (c) Abertura do molde de principiar e retração do punção, (d) Inversão para o molde final, (e) Alongamento do párison, (f) Sopro final, (g) Arrefecimento e TSQ (Bourhis 2008)	20
Figura 23 – Hotte de aplicação do TSQ (Fonte BA Avintes).....	21
Figura 24 – Representação de hotte de aplicação do TSQ com os respetivos <i>loops</i> , neste caso 3 (Fonte BA).....	22
Figura 25- Esquema do stress (Fonte BA, adaptado)	23
Figura 26- Exemplo de curva de recozimento e variação de parâmetros para diferentes espessuras (Fonte BA).....	24
Figura 27 – Nomenclatura de um embalagem de vidro (Sanches 2015).....	25
Figura 28 – Linhas 51 e 52 pós arca de recozimento e TSF.....	26
Figura 29 – Sistema de doseamento com bomba Dosatron.....	27
Figura 30 – Bruker NPFLEX™ (Laboratório Tribologia DeMEC/FEUP).....	28
Figura 31 - Garrafa cava e respetiva localização das cotas a que foi medida	30
Figura 32 - Garrafa C3_f_1	31
Figura 33 - Garrafa D2_f_1	31
Figura 34 – Fatores que influenciam a resistência ao risco	33
Figura 35 – Fluxograma seguido para a recolha de garrafas.....	34
Figura 36- Distribuição do CTU na garrafa A2.....	36
Figura 37 - Distribuição do CTU na garrafa E3	37
Figura 38 – Distribuição do TSF das amostras.....	38
Figura 39 – Gráfico dos sólidos totais da bomba doseadora Dosatron	41
Figura 40 - Gráfico dos sólidos totais da bomba doseadora Prominent	42
Figura 41 - Gráfico dos sólidos totais da bomba doseadora Taishi.....	42
Figura 42 – Produção de vidro por setor na União Europeia. Fonte: (FEVE 2009).	47
Figura 43 - C3_f_1	49
Figura 44 - C3_f_2	49
Figura 45 - C3_f_3	50
Figura 46 - C3_f_4	50
Figura 47 - C3_t_1.....	50
Figura 48 - C3_t_2.....	51
Figura 49 - C3_t_3.....	51
Figura 50 - C3_t_4.....	51
Figura 51 - D2_f_1	52
Figura 52 - D2_f_2	52
Figura 53 - D2_f_3	52
Figura 54 - D2_f_4	53
Figura 55 - D2_t_1	53

Figura 56 - D2_t_2	53
Figura 57 - D2_t_3	54
Figura 58 - D2_t_4	54
Figura 59 - P_f_1	54
Figura 60 - P_f_2	55
Figura 61 - P_f_3	55
Figura 62 - P_f_4	55
Figura 63 - P_t_1	56
Figura 64 - P_t_2	56
Figura 65 - P_t_3	56
Figura 66 - P_t_4	57
Figura 67 – Garrafa A1	58
Figura 68 - Garrafa A2	59
Figura 69 - Garrafa A3	59
Figura 70 - Garrafa B1	60
Figura 71 - Garrafa B2	60
Figura 72 - Garrafa B3	61
Figura 73 - Garrafa C1	61
Figura 74 - Garrafa C2	62
Figura 75 - Garrafa C3	62
Figura 76 - Garrafa D1	63
Figura 77 - Garrafa D2	63
Figura 78 – Garrafa D3	64
Figura 79 - Garrafa E1	64
Figura 80 - Garrafa E2	65
Figura 81 - Garrafa E3	65

Índice de Tabelas

Tabela 1- Efeitos dos revestimentos no vidro (Fonte BA)	13
Tabela 2 - Composição do vidro de embalagem	17
Tabela 3 – Recolha e tabulação das amostras para os testes de rugosidade.....	29
Tabela 4 – Média das rugosidades médias medidas	30
Tabela 5 - Medição CTU	31
Tabela 6 - Codificação e valores para cada parâmetro de cada subgrupo de amostras	35
Tabela 7 – Medição de CTU na garrafa A2.....	36
Tabela 8 - Medição de CTU na garrafa E3.....	37
Tabela 9 - Resistência ao risco de cada garrafa em 4 pontos e respetivo valor de CTU medido em 10 pontos a 75mm do fundo da garrafa	39
Tabela 10 - Ângulos de deslize de cada subgrupo de garrafas	40
Tabela 11 – Valores das rugosidades médias medidas.....	48

1 Introdução

A presente dissertação foi desenvolvida em ambiente empresarial na empresa BA Vidro, no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica (MIEM) - especialidade de Produção, Conceção e Fabrico - da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

O projeto “Análise da distribuição dos tratamentos de superfície em embalagens de vidro” aborda a temática dos tratamentos de superfície realizados nas embalagens de vidro, que lhes confere uma maior lubricidade aumentando assim a sua resistência ao risco no contacto entre garrafas e/ou nas máquinas de inspeção em linha (MIL) e posteriores linhas de enchimento.

Com a crescente exigência dos mercados, a indústria vidreira tem vindo a investir muito na qualidade, sendo esta um pilar e uma filosofia de trabalho interna na BA Vidro. A qualidade apresenta-se assim como um fator determinante de competitividade revelando-se como um dos principais diferenciadores, assumindo assim uma vantagem competitiva.

Pretende-se com este projeto o estudo dos revestimentos nas embalagens de vidro que são utilizados na indústria vidreira, analisando a distribuição do Tratamento de Superfície a Frio (TSF) e do Tratamento de Superfície a Quente (TSQ) e quais os fatores que o influenciam, tal como a caracterização das bombas doseadoras utilizadas e sua capacidade de manter uma continuidade na diluição do produto aplicado.

1.1 Indústria Vidreira

A indústria vidreira assume-se extremamente diversificada em termos de produtos fabricados e dos métodos utilizados, dividindo-se em diferentes setores que funcionam como indústrias independentes (de Almada-Lobo 2007). Neste contexto, a indústria do vidro de embalagem assume-se como o setor mais relevante em termos de produção na União Europeia, representando mais de 60% do total produzido (ver Anexo A). Saliente-se que a União Europeia é o maior produtor de vidro a nível mundial, empregando mais de 46.000 pessoas e produzindo mais de 20 milhões de toneladas de embalagens de vidro por ano (FEVE 2009).

A indústria do vidro de embalagem tem como principais características endógenas a disponibilização intensa de capital requerida, a exigência da produção em massa e a necessidade de investimentos contínuos de grande dimensão, fatores estes que funcionam como uma barreira natural à entrada de novos concorrentes (Alves 2012). Desta forma, as empresas do sector de embalagens de vidro que operam em Portugal caracterizam-se pelo seu posicionamento bem demarcado e conhecimento profundo da indústria: uma empresa com instalações apenas em Portugal, a Santos Barosa-Vidros, S.A., dois grupos ibéricos (a BA Vidro, S.A., de origem portuguesa, e a Vidrala, de origem espanhola) e um grupo internacional – a Saint-Gobain, através da marca Verallia. De destacar ainda a presença de um outro grupo internacional na península Ibérica, a O-I (*Owens-Illinois*), uma das maiores empresas do setor a nível mundial, com 79 fábricas em 23 países.

1.2 Apresentação da Empresa

O grupo BA Vidro, S.A. foi fundada em 1912 pelos sócios Raúl da Silva Barbosa e Domingos de Almeida sob a designação de “Barbosa e Almeida”, tendo apenas como atividade comercial a distribuição de garrafas de vidro, tendo iniciado a produção industrial apenas em 1930. Um dos principais marcos foi dado no ano de 1947 quando foi implementada tecnologia automática de alimentação e moldação para o fabrico de embalagens.

A BA Vidro adotou como sede do grupo a fábrica de Avintes (AV), Vila Nova de Gaia, onde opera uma unidade fabril desde 1969. Atualmente o grupo possui 12 unidades fabris, 3 em Portugal (Avintes, Marinha Grande e Venda Nova), 2 em Espanha (Léon e Villafranca de los Barros), 2 na Polónia (Jedlice e Sieraków), 1 na Alemanha (Gardelegen), 1 na Grécia (Atenas), 2 na Bulgária (Sofia e Ploviv) e 1 na Roménia (Bucarest), o que demonstra o seu percurso marcado por diversas aquisições e expansões.

Na Figura 1 estão distribuídas localmente as 12 fábricas que o grupo BA detém em Portugal, Espanha, Polónia, Alemanha, Grécia, Bulgária e Roménia.



Figura 1- Localização das unidades fabris do grupo BA (Fonte BA adaptado)

O grupo BA tem como grande atividade a produção de garrafas de vidro produzindo anualmente cerca de 6 mil milhões de garrafas, em 9 cores de vidro: âmbar, âmbar escuro, branco azulado, branco *flint*, preto, verde escuro, verde esmeralda, verde uv, *georgia green* (Figura 2).

Todas as unidades fabris estão estruturadas em dimensão, tecnologia e equipamentos auxiliares e as linhas de produção especializadas, por forma a satisfazer as diferentes necessidades de garrafas das indústrias de alimentação e bebidas.



Figura 2 – Garrafas e respetivas cores disponíveis na BA (Fonte BA adaptado)

Todas as garrafas são inspecionadas da mesma forma em todas as fábricas, passando pelas Máquinas de Inspeção em Linha (MIL), assegurando desta forma a conformidade das suas características visuais e dimensionais requeridas por cada cliente. Para além destas inspeções automáticas, é feito também o controlo nos laboratórios dos tratamentos de superfície, capacidade, choque térmico e resistência à pressão.

Tendo em conta toda a automatização e controlo do processo produtivo, a BA revela ser um fornecedor de referência das principais indústrias de alimentação e bebidas, onde se destaca pela elevada qualidade dos seus produtos e pela capacidade de trabalhar em parceria com os seus clientes e fornecedores de modo a encontrar soluções inovadoras e flexíveis.

Este projeto foi desenvolvido na unidade fabril de Avintes (AV), mais concretamente no revestimento de embalagens de vidro, com especial enfoque no tratamento de superfície a frio, tratamento o qual é feito logo após a arca de recozimento. Na Figura 3 pode observar-se a vista aérea da unidade fabril.



Figura 3 – Unidade fabril de Avintes (Fonte BA adaptado)

1.3 Contextualização do Projeto na BA Vidro, S.A.

Aliada à crescente exigência dos clientes e redução global dos preços de venda, o sector vidreiro tem vindo a ser fortemente afetado, tendo de procurar incessantemente novas formas de subsistir. Uma das formas imediatas para combater este efeito de maneira imediata é o aumento do volume de vendas, contudo existem outras de longo prazo, cuja importância é essencial para a sustentabilidade do negócio. É nesta perspetiva que se integram quer o aumento dos índices de produtividade operacionais, quer a melhoria do serviço ao cliente e a sua satisfação – a produção e o transporte devem ser céleres e flexíveis e, ao mesmo tempo, os produtos entregues devem cumprir as especificações exigidas.

O grupo BA sendo um dos maiores grupos europeus da indústria vidreira, tem vindo a ser afetado por esta conjuntura de mercado. É neste âmbito que surge um projeto de estudo dos tratamentos de superfície que são essenciais para manter a integridade e bom aspeto visual das garrafas.

Devido ao seu grande espólio e gama de produtos que oferece, a BA tem em carteira vários clientes, a fábrica de AV produz sazonalmente garrafas para champanhe, denominada por “cava” (Figura 4), tendo sido produzida durante 2 meses durante a totalidade do projeto na unidade fabril.

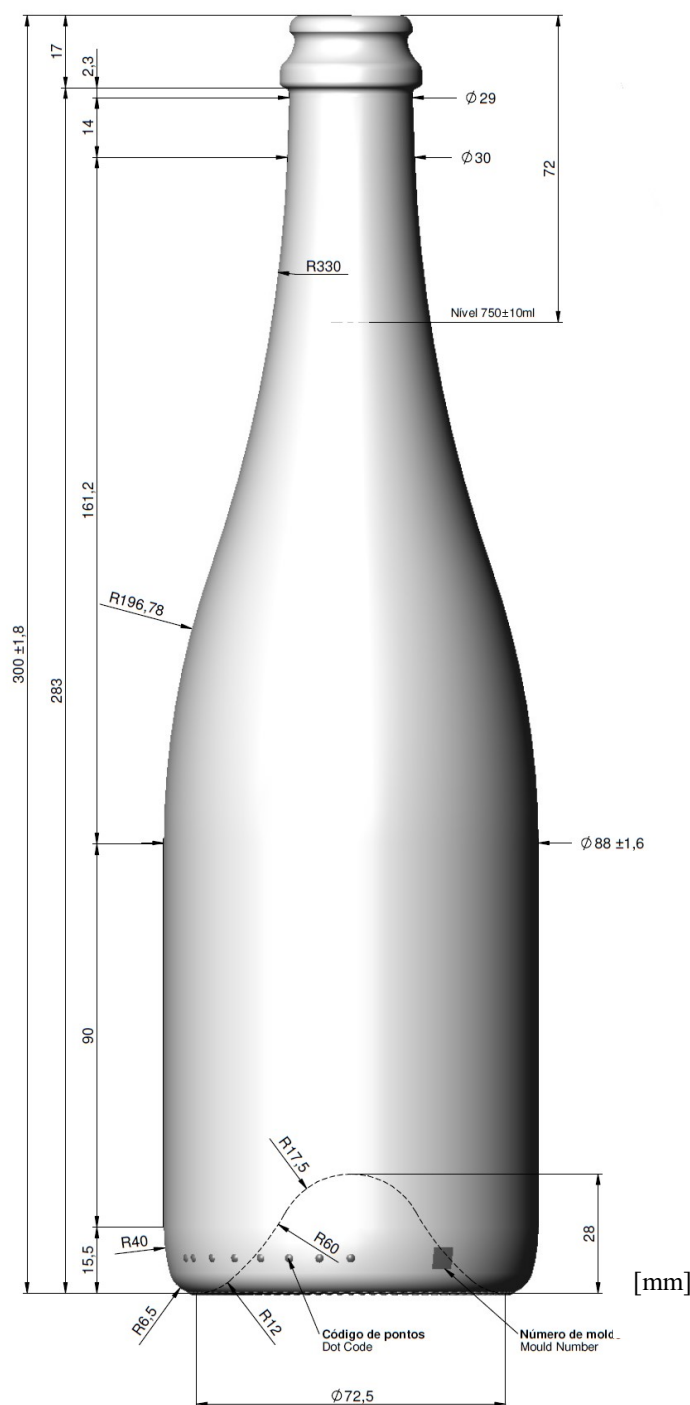


Figura 4 – Garrafa “Cava” (Fonte BA)

Devido ao longo trajeto no transporte quer para Espanha (aproximadamente 1290 km até Barcelona) quer para França (percurso ainda mais longo) e associado ao peso elevado de cada garrafa (cerca de 850 gr), tem apresentado vários problemas de *scuffing*, como é conhecido este fenómeno de riscagem e que pode ser observado na Figura 5, o que tem sido motivo de várias reclamações por parte dos clientes. De modo a combater esta falta de qualidade do produto final quando chega ao cliente, pretende-se estudar a distribuição dos tratamentos de superfície nas embalagens de vidro e verificar se há uma forma aumentar a resistência ao risco da garrafa “cava” em particular, analisando quais os parâmetros na deposição destes tratamentos que afetam mais os ciclos de riscagem a que a garrafa consegue resistir. É preciso ter em conta que o grupo concorre com fornecedores que estão muito mais próximos do

cliente, não apresentando o mesmo nível de desafio no transporte que o grupo BA tem de enfrentar.

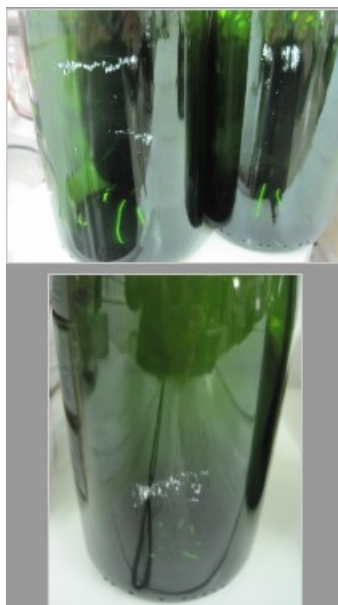


Figura 5 – *Scuffing* na garrafa (Reclamação do cliente)

1.4 Metodologia Seguida no Projeto

Numa fase embrionária do projeto foi seguido um plano de integração na empresa, funcionando como uma adaptação ao ambiente empresarial. Passando de departamento em departamento fabril, foi possível ter uma perspectiva geral sobre como cada área funciona, tais como os processos envolvidos na produção de embalagens de vidro.

Após esta fase de integração, houve uma de formação quanto aos tratamentos e ao recozimento das garrafas por forma a assimilar os conhecimentos básicos e iniciais fulcrais para o entendimento do projeto e qual a sua finalidade.

Assimilados os conhecimentos quanto ao processo de revestimento das garrafas, procedeu-se a uma pesquisa quanto a possíveis testes a realizar. Analisou-se de que forma os tratamentos afetam a superfície da garrafa, quais os parâmetros na deposição do TSF vão fazer variar mais a resistência ao risco da garrafa.

1.5 Estrutura da Dissertação

A presente dissertação encontra-se dividida em 5 capítulos. No primeiro capítulo, sendo um capítulo introdutório, apresentou-se resumidamente o projeto e o seu contexto.

No segundo capítulo é feito um enquadramento teórico dos conceitos chave envolvidos no projeto, sendo apresentados os principais pressupostos teóricos que sustentaram o projeto.

No terceiro capítulo faz-se uma abordagem ao processo produtivo da fábrica e da situação atual da empresa.

No quarto capítulo são apresentados os testes que foram efetuados e quais os seus resultados.

No quinto e último capítulo são resumidas as conclusões que foram possíveis aferir de todos os testes realizados e apresentados possíveis trabalhos/testes futuros, tais como possíveis soluções.

2 Enquadramento teórico

Neste capítulo são abordados alguns assuntos relevantes para o problema em estudo. Os temas analisados são o vidro, o *scuffing*, os tratamentos de superfície a quente e a frio, o ensaio de resistência ao risco e a rugosidade. Em cada um dos temas é feita uma breve revisão e exposição da literatura existente de modo a contextualizar o projeto na realidade atual.

Numa primeira fase faz-se uma abordagem inicial sobre o que é o vidro, tal como uma breve noção histórica.

Seguidamente fala-se sobre o fenómeno mais comumente chamado de *scuffing*, que é a principal problemática do projeto.

Posteriormente são abordadas as temáticas dos tratamentos de superfície, explicitando como são feitos e o porquê de serem necessários.

Por fim, é estudado o ensaio de resistência ao risco e o conceito de rugosidade, temáticas importantes para entender os testes efetuados durante o projeto.

2.1 Vidro

A utilização do vidro no nosso dia a dia é tão frequente que nem notamos a sua presença. Existindo já há milhares de anos, tem fascinado e atraído muito interesse tanto a nível científico como tecnológico. Durante muito tempo foi considerado o “quarto estado da matéria” antes da consciencialização da sua estrutura “líquida”. Forma-se através do arrefecimento contínuo até a viscosidade se tornar tão elevada que “congela” até um estado vitrificado (Shelby 2005).

O vidro tem sido utilizado em muitas formas para fabricar vidros e recipientes durante séculos, enquanto agora está a entrar em novas aplicações que estão a aparecer na nanotecnologia (fibras e displays). Muitas qualidades fazem do vidro um material atrativo visto que é transparente, quimicamente inerte, ambientalmente amigável e com boas propriedades mecânicas. Aliás, não há outro material de produção em massa que tenha mostrado tamanhas qualidades durante tantos séculos. Atualmente, oferece oportunidades de reciclagem e permite adaptar novas e específicas aplicações. A indústria do vidro tem-se desenvolvido consideravelmente na eficiência em termos de rendimento de produção e qualidade ao longo das últimas décadas (Bourhis 2008).

2.2 Scuffing

Uma vez que o vidro que forma as garrafas é um material quebradiço, a sua resistência mecânica potencialmente muito elevada é enfraquecida pela presença de defeitos, que raramente ocorrem na massa do vidro, mas são frequentemente encontrados na sua superfície. Por conseguinte, é de primordial importância proteger ou reforçar a superfície do vidro com um ou mais filmes compostos por óxidos metálicos ou moléculas orgânicas. No entanto,

apesar da presença de tais tratamentos, a superfície das garrafas fica arranhada após múltipla utilização. Como resultado das operações de manuseio e lavagem, marcas esbranquiçadas aparecem na superfície. Estão presentes principalmente nos diferentes pontos de fricção dos frascos quando batem uns contra os outros, por exemplo em correias transportadoras. O termo "scuffing" é dado a essas marcas no jargão de fabricantes de vidro e engarrafadores. Afetam não só a resistência mecânica do vidro, mas especialmente a sua transparência e sua atratividade visual (Malengreau 2000). Na Figura 6 apresentam-se alguns exemplos deste defeito e o agravamento com os ciclos de uso.



Figura 6 – Scuffing ao longo de vários ciclos de uso das garrafas (ISOTECH ASC Wax 2013)

2.3 Tratamento de Superfície a Quente

A maior parte dos recipientes de vidro em uso têm a sua superfície modificada de modo a melhorar a sua durabilidade. O método de tratamento de superfície mais comum na indústria de garrafas é a deposição de uma camada de óxido de estanho na superfície das garrafas, seguida de uma camada de um material polimérico, normalmente polietileno (Bhargava et al. 2000).

O tratamento de superfície a quente é aplicado por deposição química em fase de vapor (CVD) de um composto inorgânico à base de estanho ($C_4H_9SnCl_3$) (Figuras 8 e 9), diretamente após se formar a garrafa nas máquinas IS (Figura 7). Uma camada fina de óxido de estanho é formada na garrafa numa questão de segundos. Essa camada previne qualquer contato vidro-vidro direto, ajudando a preservar a resistência da garrafa (Blocher Jr 1981).

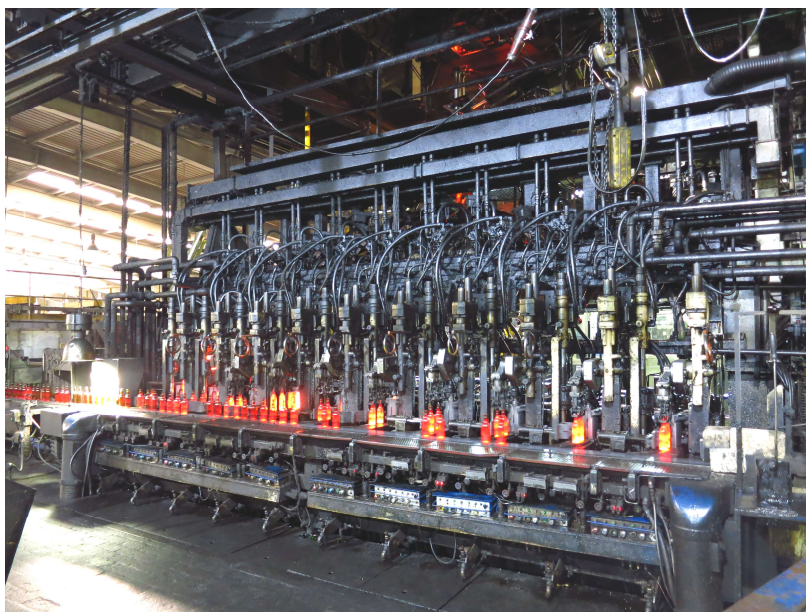


Figura 7 - Máquina IS (*Individual Section*) (Fonte BA)

Outro objetivo desta camada depositada a quente é o de formar uma espécie de base para o TSF, aumentando a adesão deste quando aplicado posteriormente (van Wijk et al. 1995). Vai também melhorar a aparência dos artigos, eliminar microfissuras promovendo um consequente aumento da resistência à pressão interna.

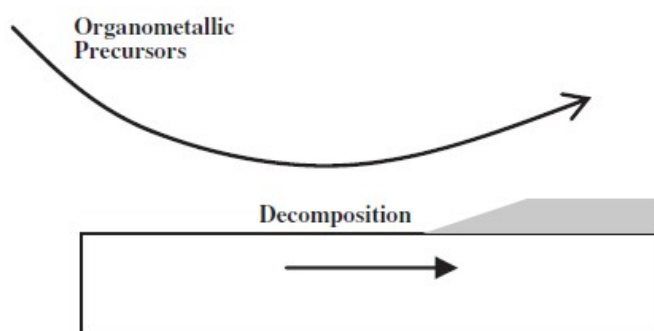


Figura 8 – Princípios do CVD (Bourhis 2008)

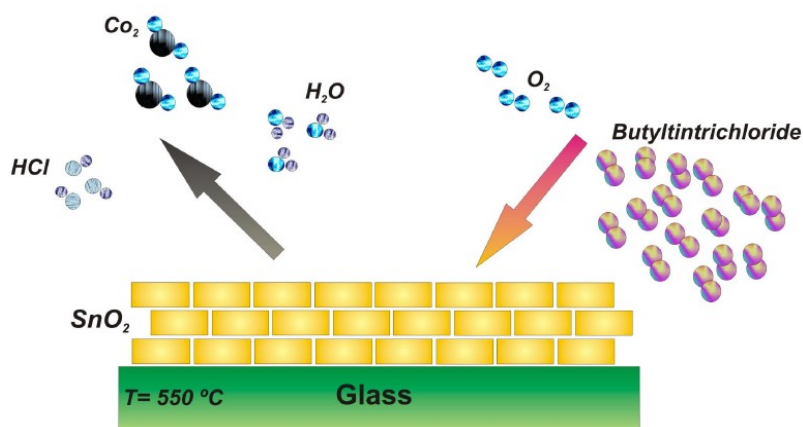


Figura 9 - Exemplificação do processo de deposição do TSQ (Fonte BA Vidro)

Esta camada é expressa na indústria como “*Coating Thickness Unit*” (CTU) e é geralmente medida usando um aparelho de medição do TSQ da “*American Glass Research*” (AGR) como o que se pode observar na Figura 10, deste modo pode analisar-se a distribuição desta camada em diversos pontos do perímetro da garrafa e a diferentes cotas.



Figura 10 - Aparelho de medição do TSQ

O indicador CTU baseia-se numa mudança no índice de refração da superfície do vidro base para o da amostra revestida. Esta técnica não deteta nem corrige a espessura do TSF, ou seja, o valor medido de CTU não é afetado após ser aplicado o TSF. O valor CTU é também influenciado por pequenas mudanças na composição do filme de óxido de estanho ou no vidro base. O aparelho tem um alcance de medição de 1 a 99 CTU, sendo que cada unidade de CTU corresponde a cerca de 0.20 nm de espessura (Bhargava et al. 2000).

2.4 Tratamento de Superfície a Frio

O TSF consiste numa deposição por pulverização, com o auxílio de pistolas de atomização (Figura 11), de uma formulação orgânica à base de água de um polietileno de baixa densidade modificado, sendo segredo do fornecedor qual a sua modificação, estando o vidro a temperaturas entre 80 e 160°C (Beauvais et al. 2010).



Figura 11 - Pistolas de aplicação do TSF

A camada orgânica é estabilizada pelo óxido de estanho depositado no TSQ resultando na lubrificação e prevenção de danos superficiais, o que vai permitir um rápido escoamento das embalagens pelas linhas de inspeção e melhorar a resistência à abrasão (Southwick et al. 1981).

O TSF geralmente é depositado tanto pelo topo do tapete assim como sob o tapete, por forma a melhorar a distribuição do produto (Figura 12).

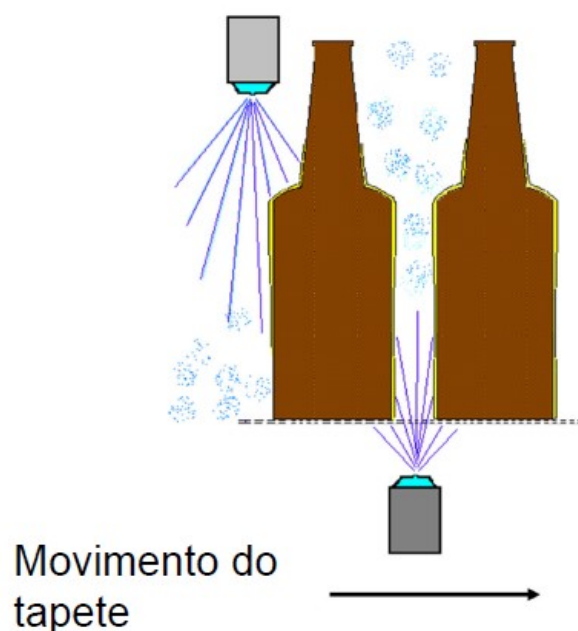


Figura 12 – Esquema da deposição do TSF no top e sob o tapete (Fonte BA)

Tal como se pode ver na Figura 12, certas zonas, quer pelo ângulo do leque da pistola quer pelo formato da embalagem, vão ter menos produto.

Para controlar e aferir a eficiência do TSF no laboratório da unidade fabril de Avintes, é usada uma *Tilt Table*, esta também desenvolvida pela AGR (Figura 13), que permite medir ângulos de deslizamento (varia devido ao coeficiente de atrito, valor que é fornecido também na escala de leitura) (Snyder 1990). Quanto menor este ângulo, maior lubricidade a garrafa tem, logo melhor foi a deposição do TSF.

Para fazer esta medição são recolhidas 3 garrafas, colocadas na mesa na posição horizontal. A mesa vai-se inclinando e quando o atrito estático é ultrapassado, a garrafa escorrega e atinge um batente que faz parar a inclinação automática. O resultado pode ser lido na escala de leitura.

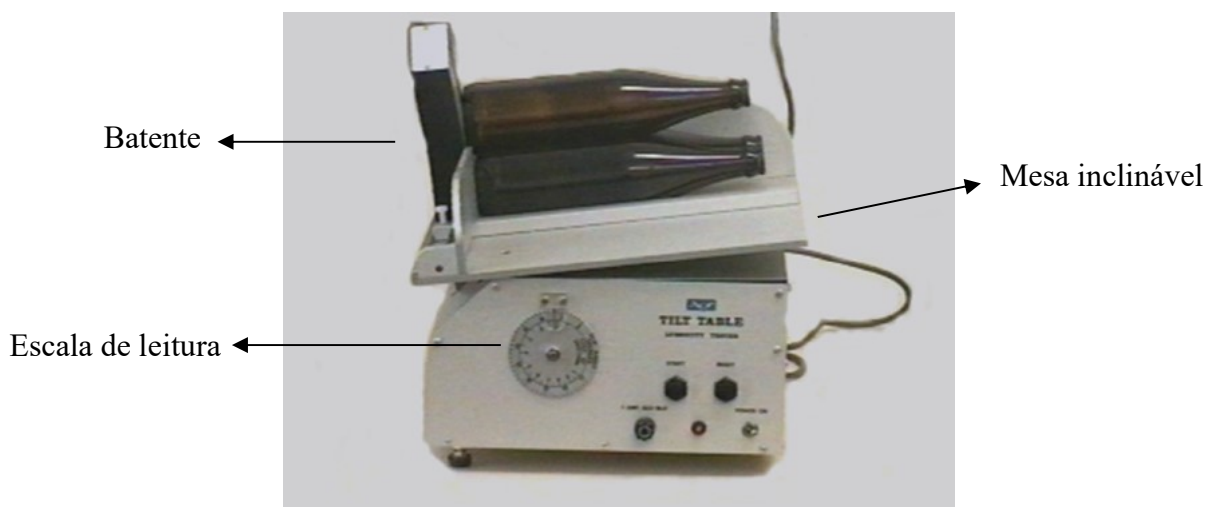


Figura 13 – *Tilt Table* usada no laboratório para medição de ângulos de deslize

É de ter em atenção que embora se queira ter lubricidade nas garrafas de modo a reduzir a abrasão no contacto, os valores do ângulo de deslize não podem ser demasiado baixos. Isto pode vir a criar problemas na adesão de rótulos, posteriormente e, também na paletização, se esta for cintada, existe o risco de as embalagens “escorregarem” entre elas não permitindo o seu correto embalamento. Outro problema do excesso do TSF é também este vir a ser visível se for colocado em demasia. A garrafa apresenta um tom esbranquiçado o que é algo a evitar em termos estéticos, procurando-se sempre um equilíbrio entre a sua funcionalidade e o aspeto.

Apesar do ângulo de deslize ser um método de medição da quantidade de TSF, este não é suficiente para se ver fisicamente a sua distribuição. Para tal efetua-se também uma “molha” da garrafa com pó de alumínio, pó que se vai agarrar ao filme orgânico e assim permite uma análise qualitativa quanto à distribuição do TSF. Na unidade fabril de Avintes um operário recorre a um pincel embebido com o pó e espalha-o pela garrafa, este processo está muito dependente da experiência e capacidade de avaliação deste. Um exemplo da aplicação do pó de alumínio apresenta-se na Figura 154.



Figura 14 – Exemplo de aplicação do pó de alumínio para identificação de filmes orgânicos

Após a aplicação dos dois tratamentos pode verificar-se através da Tabela 1 que algumas propriedades são melhoradas substancialmente.

Tabela 1- Efeitos dos revestimentos no vidro (Fonte BA)

	Sem revestimento	Com TSQ + TSF
<i>Ângulo de deslize</i>	> 30°	< 10°
<i>Resistência ao risco</i>	< 0.1 Kg	>> 30 Kg
<i>Pressão interna</i>	< 10 bar	> 30 bar

2.5 Ensaio de Resistência ao Risco

Se a aplicação do TSQ e do TSF tiver sido suficiente, as garrafas devem apresentar uma resistência ao risco muito elevada. De modo a quantificar e qualificar essa resistência, as garrafas foram sujeitas a testes, como se pode ver pela Figura 15, numa máquina da Arkema própria para o efeito.



Figura 15 - Máquina de teste de resistência ao risco (Fonte Arkema)

Duas garrafas são fixadas num suporte, sendo seguidamente pressionadas uma contra a outra com uma força nominal de 200 N. Uma fica estaticamente posicionada enquanto a segunda garrafa faz movimentos de vaivém sobre a primeira. Quando o revestimento se degrada, o contacto vidro-vidro acontece e a superfície é imediatamente riscada, toma-se então nota de quanto ciclos de riscagem a garrafa foi capaz de resistir.

2.6 Rugosidade

O estudo do contacto entre superfícies é essencial para muitos problemas em engenharia. Alguns desses problemas incluem condutividade térmica e elétrica, “*scuffing*”, fricção, selagem, performance e vida de elementos mecânicos.

Todas as superfícies são compostas por diferentes tipos de imperfeições e irregularidades. Estas características podem ser divididas em diversas categorias (DIN 4760) que definem os efeitos macro geométricos e micro geométricos (Tavares 2004).

A medição da rugosidade de uma superfície é um dos mais importantes passos para a análise do contacto entre duas superfícies e é muito importante para o controlo de qualidade das superfícies. Existem várias alternativas de técnicas de medição da rugosidade de superfícies

hoje em dia. A escolha adequada de qual o método a usar deve ser determinado pela resolução do equipamento e as suas limitações.

O parâmetro mais utilizado na análise da rugosidade é o de rugosidade média (R_a) (equação 2.1). A rugosidade média é calculada através da média aritmética dos valores absolutos das alturas dos pontos que compõe o perfil, em relação à linha média (LM). A linha média é uma linha de referência que divide o perfil de rugosidade, de forma que a soma das áreas superiores seja igual à soma das áreas inferiores. Apresenta, no entanto, baixa sensibilidade para indicar presença de picos e vales ao longo dos perfis de rugosidade (PARRA et al. 2006).

$$R_a = \frac{1}{l_m} \int_0^{l_m} |y(x)| dx \quad (2.1)$$

Onde:

R_a , é a rugosidade média em micrómetros (μm)

L_m , é o comprimento da medição

$y(x)$, é a distância a que estão as imperfeições da linha média

2.6.1 Método de Interferência Ótica

O princípio principal da interferometria é quando uma cunha transparente de pequeno ângulo, cercada de ar, é iluminada com luz monocromática, sendo criado um padrão de interferência. Este princípio pode ser usado para medir a rugosidade superficial, usando uma referência plana instalada no microscópio de interferência. Quando há um pequeno ângulo entre a referência plana e a superfície examinada, são geradas linhas com espessuras iguais. As mudanças locais neste padrão de franja, são uma medida da rugosidade da superfície. Para medir a rugosidade da superfície existem duas técnicas que podem prolongar a faixa da medida da rugosidade da superfície onde as inclinações são grandes. Uma dessas técnicas é medir as alturas de superfície em dois ou mais comprimentos de onda visíveis, o que aumenta a faixa dinâmica da medida pela proporção do comprimento de onda sintético para o comprimento de onda visível. Outra técnica mais poderosa é o uso de um interferômetro de varrimento de luz branca, que envolve a medição do grau de modulação de franja, em vez da fase das franjas de interferência. Neste caso, as alturas de superfície são medidas alterando o comprimento do curso do braço do interferômetro, que contém a amostra, para determinar a localização da amostra para qual a franja de luz branca é obtida com melhor contraste. No final, a posição vertical em cada local fornece o mapa de superfície. Os dados dessas imagens com franjas são depois convertidos em dados digitais. A análise das franjas permite obter um mapa 3D da superfície medida (Tavares 2004).

Os instrumentos atuais disponíveis são baseados nestas duas técnicas. Na Figura 16 pode analisar-se o esquema de funcionamento do interferômetro ótico digital.

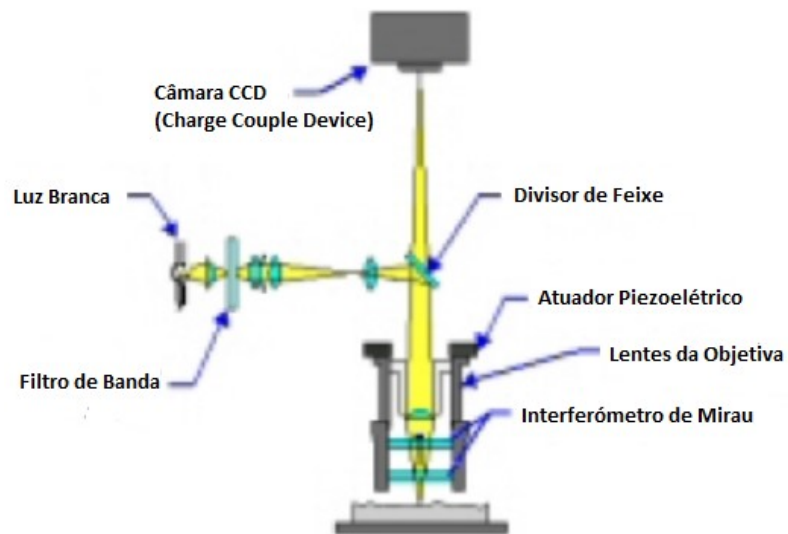


Figura 16 – Esquema do interferômetro tridimensional com a objetiva de interferência de Mirau (Tavares 2004)

3 Descrição do Processo Produtivo

Este capítulo surge da necessidade de compreender o contexto no qual este projeto se insere sendo analisados os principais elementos associados à sua realização.

Vai ser feita uma análise inicial apresentando de uma forma resumida o processo produtivo das embalagens de vidro e todos os subprocessos que estão envolvidos.

Posteriormente dá-se uma noção sobre como funciona a zona fria e a sua função tal como a gestão de linha e respetivo tratamento a frio.

Seguidamente fala-se sobre as mudanças de fabrico, nas quais são feitas limpezas nas *hotte* de TSQ e a afinação das pistolas do TSF.

No final serão apresentados os problemas encontrados tanto nas mudanças como no processo em si, seguindo-se a escolha da linha piloto e quais os objetivos iniciais, para testar a análise de distribuição dos tratamentos de superfície em embalagens de vidro, tema em estudo nesta dissertação.

3.1 Processo Produtivo

O processo é semelhante em todo o grupo, sendo dividido em seis fases distintas (Figura 17), ao longo de cinco zonas: Composição e Fusão, Zona Quente, Zona Fria, Qualidade, Paletização e Armazém de Produto Acabado (APA).

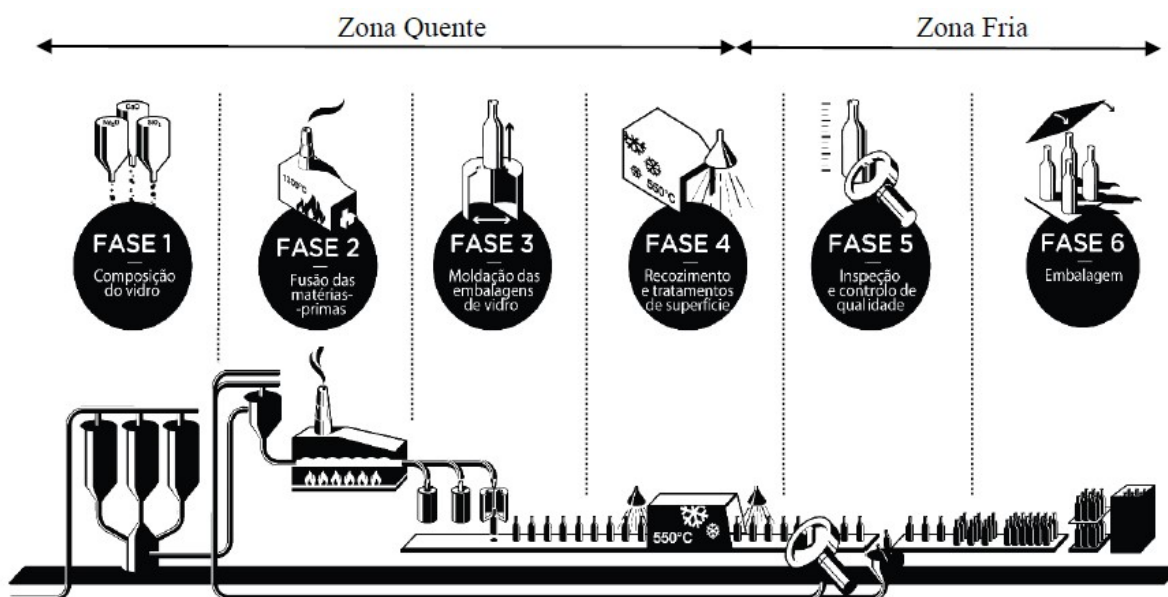


Figura 17 - Processo Produtivo (Alves 2012)

Fase 1: Composição e Mistura do Vidro

Nesta fase as matérias primas são armazenadas, sendo doseadas e misturadas com o objetivo de compor a massa que vai ser vitrificada e que seguirá para os fornos que a vão fundir. A composição básica do vidro de embalagem é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 - Composição do vidro de embalagem

Elemento	% Peso Total
Sílica (SiO_2)	70-72
Óxido de Sódio (Na_2O)	12-14
Cal (CaO)	9-11
Óxido de Magnésio (MgO)	0-3
Óxido de Alumínio (Al_2O_3)	1-2
Óxido de Potássio (K_2O)	0-1

De modo a obter um vidro com esta composição são adicionadas na “receita” matérias-primas como areia, carbonato de cálcio como fundente, calcário como estabilizante, sulfato de sódio como afinante entre outros componentes em quantidades mais residuais, como corantes. É ainda adicionado vidro reciclado (casco). O casco pode ser proveniente de reciclagem interna (de rejeição de produção/garrafas com defeitos) ou de origem externa, sendo tratado numa estação de triagem presente na fábrica, que separa o vidro branco do de cor, e moído posteriormente. Na Figura 18 mostra-se o ciclo de vida das embalagens e vidro.

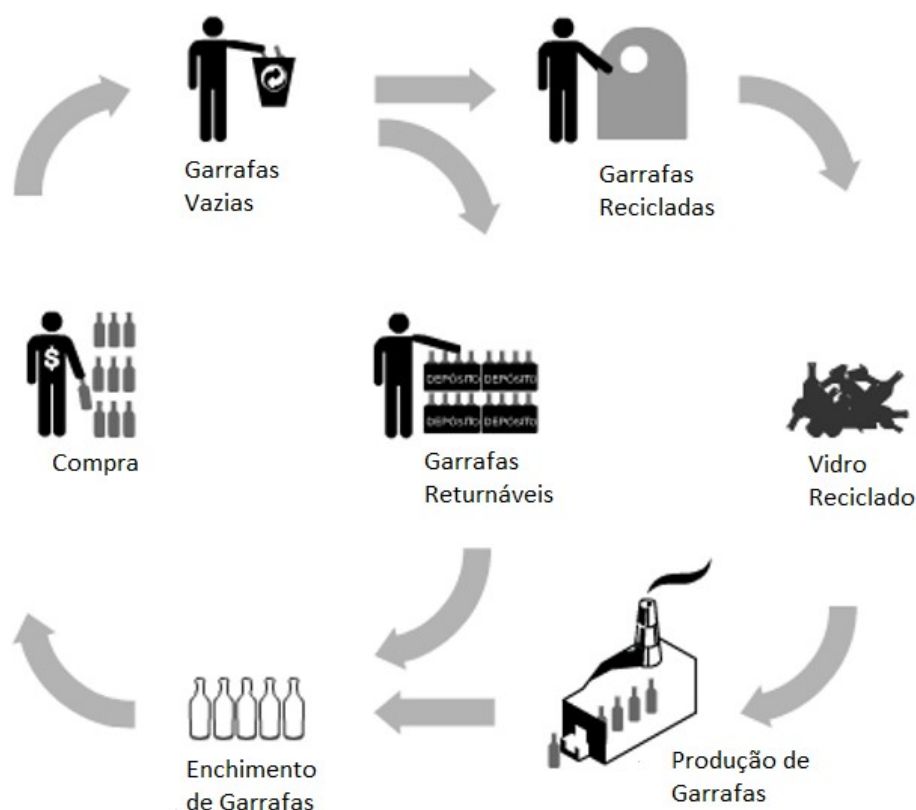


Figura 18 - Ciclo de vida do vidro (Fonte BA Vidro)

Depois de uma análise às suas propriedades, as matérias-primas são armazenadas em silos, onde são pesadas automaticamente através de balanças. Esta mistura de constituintes em diferentes quantidades é o que vai definir a cor do vidro dentro do espetro pretendido.

Fase 2: Fusão das Matérias Primas

A mistura vai seguir então para os fornos, construídos em material refratário, de modo a ser fundida a temperaturas que variam entre 1500 e 1600°C.

Na unidade fabril de Avintes estão presentes três fornos, como o demonstrado na Figura 19, de fusão alimentados a gás, com ajuda elétrica através de elétrodos, quer no fundo quer nas laterais de cada um, que funcionam 24 horas por dia durante o ano todo. Cada forno está numerado pela sua ordem de construção na fábrica, neste momento estão designados por AV2, AV4 e AV5. A sua capacidade nominal é de 250, 215 e 367 toneladas/dia, respetivamente, alimentando 11 linhas de produção.

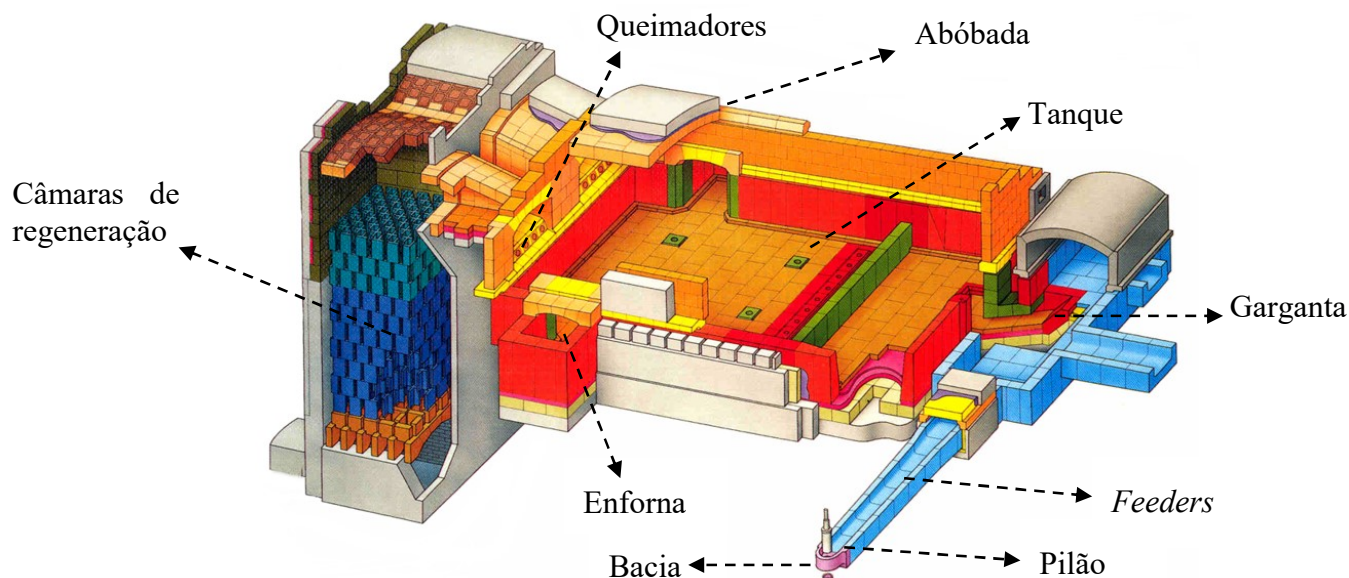


Figura 19 - Representação esquemática de um forno (Fonte BA Vidro)

O vidro liquefeito vai-se mover ao longo do tanque por ação gravítica do material, passando por uma fase de afinação onde se vai garantir a homogeneidade térmica da massa fundida através de queimadores permitindo obter um produto final de qualidade, que vai alimentar os *feeders* (canais). No final dos canais, o vidro fundido chega às bacias e é vertido com o auxílio mecânico de pilões, criando um fio de vidro que vai sendo cortado posteriormente por tesouras, formando gotas (Figura 20).

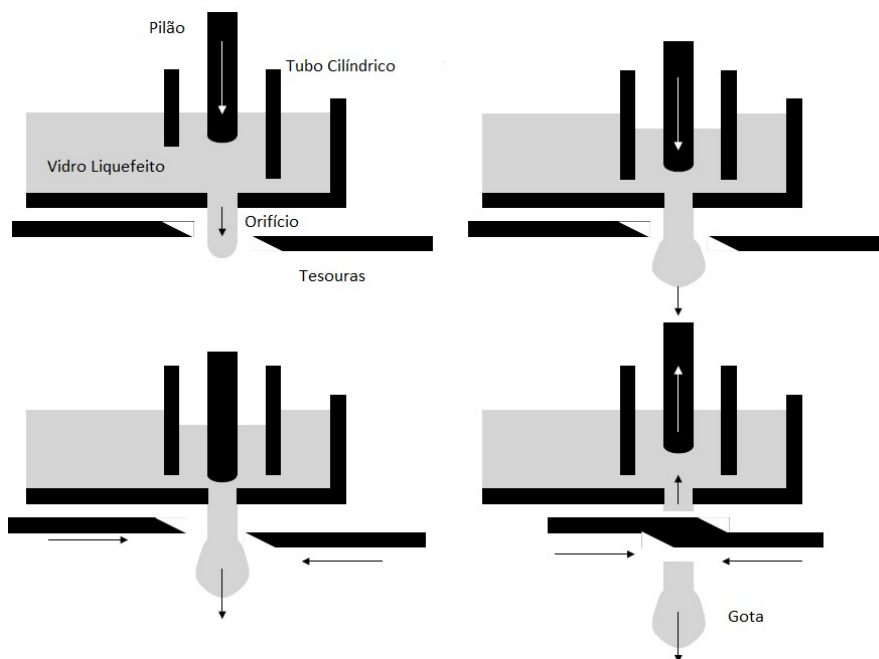


Figura 20 - Formação de gota (Bourhis 2008)

Cada forno, em cada momento, é dedicado à produção de uma única cor de produto acabado. Atualmente as cores com que cada forno opera são: verde esmeralda no AV4, verde uv no AV5 e âmbar no AV2.

As cores podem ser alteradas de acordo com decisões no planeamento. Na Figura 21 é possível observar-se um esquema ilustrativo dos fornos e das linhas de produção.

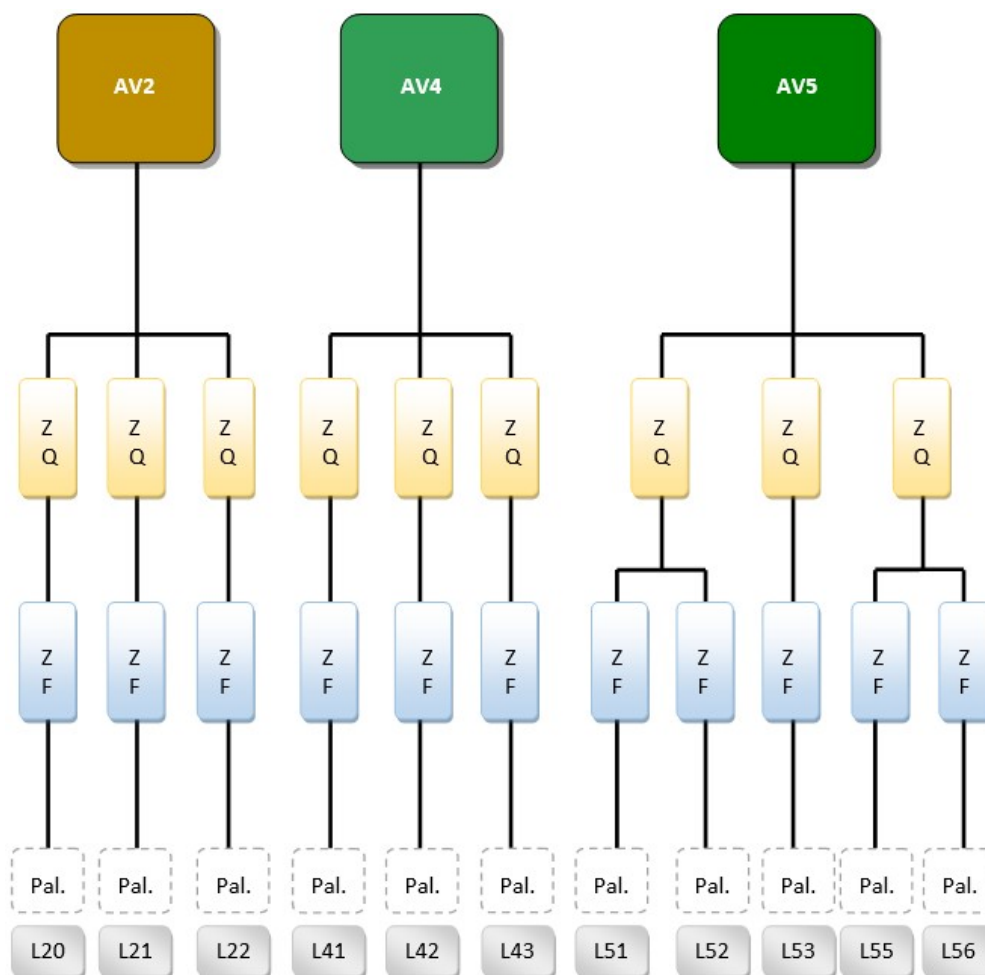


Figura 21 - Esquema Representativo dos Fornos e Linhas da Unidade Industrial de Avintes (Sanches 2015)

Em todas as linhas as embalagens passam pelas mesmas fases de produção, sendo que as linhas 51/52 e 55/56 apresentam a particularidade de trabalharem em *tandem* (conjunto de duas unidades dispostas uma atrás da outra), visto que a linha é comum à saída da arca de recozimento.

Fase 3: Moldação das Garrafas de Vidro

As gotas são então distribuídas para as várias secções das máquinas de moldação, denominadas de máquinas IS. Estas máquinas devem o seu nome ao facto de cada uma das secções constituintes funcionar de forma independente das restantes, incorporando todos os componentes necessários para a moldação das embalagens, sendo possível parar cada uma delas sem afetar as restantes.

A moldação de uma embalagem de vidro compreende duas fases: na primeira a gota após ser cortada é guiada através de defletores e calhas até ao “molde de principiar” (MP), onde adquire a sua pré-forma (também denominada de párisson). Na segunda fase, o párisson é transferido através de um braço inversor para o “molde final” (MF) onde o recipiente vai tomar a sua forma final (Figura 22).

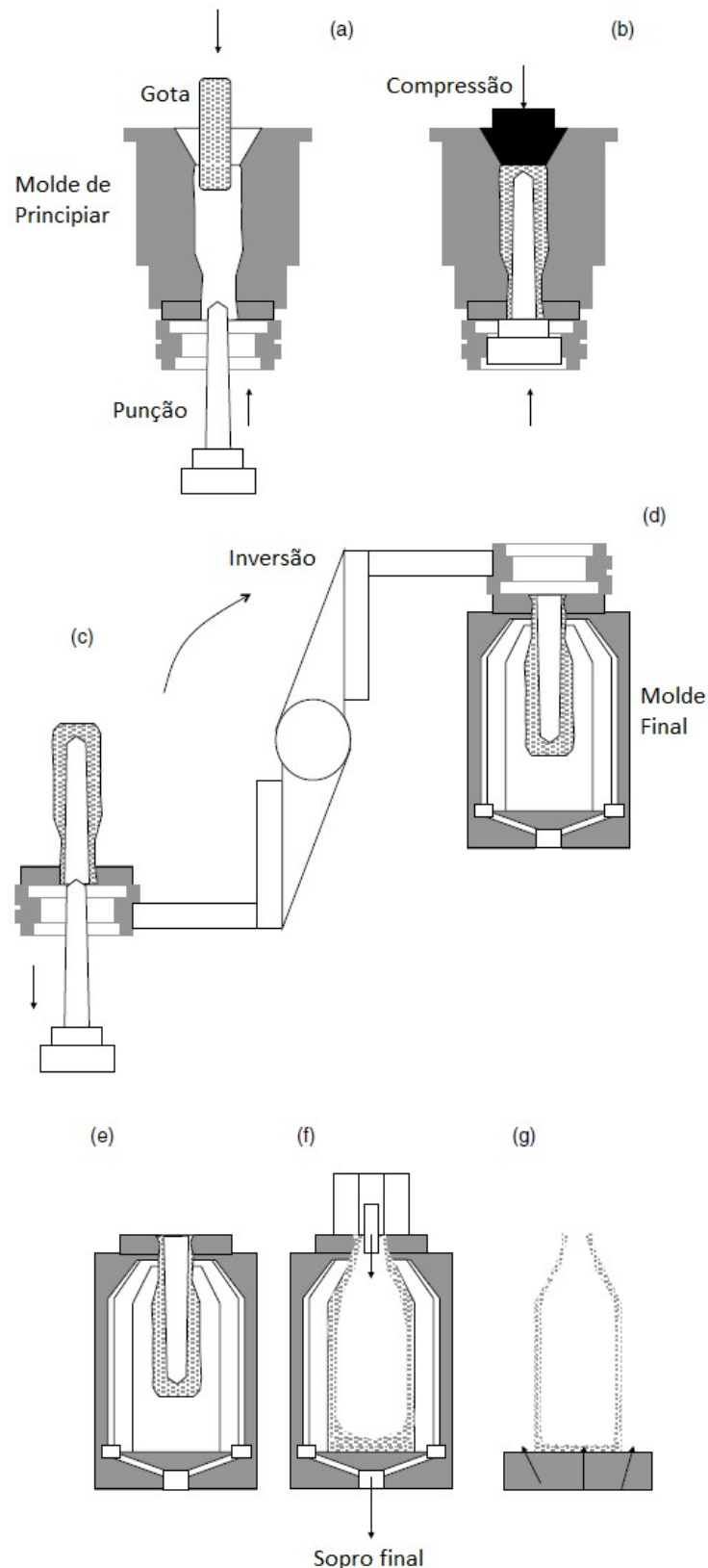


Figura 22 - Processo Prensado-Soprado: (a) Caída da gota, (b) Compressão do párison, (c) Abertura do molde de principiar e retração do punção, (d) Inversão para o molde final, (e) Alongamento do párison, (f) Sopros finais, (g) Arrefecimento e TSQ (Bourhis 2008)

De salientar que existem dois tipos principais de fabrico de embalagens de vidro: Soprado-Soprado (SS) e Prensado-Soprado (PS). Existem ainda outros processos derivados destes dois,

dos quais se salienta o *Narrow-Neck-Press-and-Blow* (NNPB) que se assume como uma variante do processo PS para garrafas mais leves, de gargalo estreito.

Como se pode ver no esquema da Figura 22, na qual está representado o processo de fabrico por PS, vê-se o molde de principiar a ser alimentado por uma gota (Figura 22 a). Neste processo um punção pressiona a gota contra o molde entrando progressivamente e pressionando na outra extremidade (Figura 22 b). De seguida o párison é invertido para o molde final (Figura 22c e d). A forma final é obtida após o sopro final do párison contra o molde (Figura 22e e f). A garrafa de vidro é então transferida para um tapete, sendo depois alvo de tratamentos de superfície e de recozimento, que vão ser explicados na fase 4 (Figura 22g).

O processo SS difere essencialmente no modo como o párison é formado. Em vez de ser pressionada, a gota é sujeita a um sopro inicial no molde de principiar.

Fase 4: Recozimento e Tratamentos de Superfície

Após a moldação, as garrafas são enviadas para um tapete transportador que as vai conduzir ao longo de uma hotte de aplicação do Tratamento de Superfície a Quente (TSQ) que pode ser observada na Figura 23.



Figura 23 – Hotte de aplicação do TSQ (Fonte BA Avintes)

Para se conseguir uma boa aplicação do TSQ na hotte de aplicação, é necessário controlar vários parâmetros tais como:

- Velocidade do ar de recirculação, pois como se pode ver na Figura 24 estas possuem um sistema de *loops* que forçam o ar com produto a recircular e assim diminuir o consumo;
- Concentração suficiente de produto no ar de recirculação;
- Temperatura da superfície das garrafas da ordem dos 500 a 600°C;

- Temperatura do ar de recirculação entre os 120 e os 180°C, visto que abaixo dos 120°C a evaporação do produto é deficiente e acima dos 180°C há uma degradação deste.

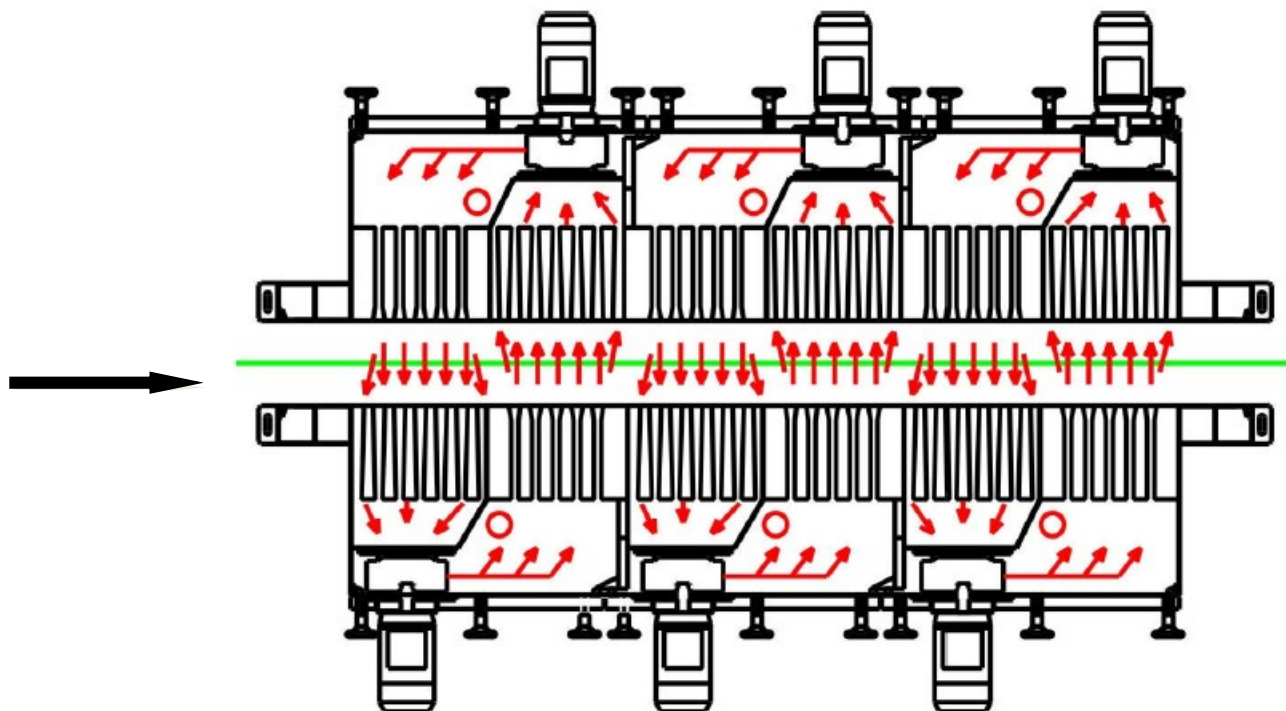


Figura 24 – Representação de hotte de aplicação do TSQ com os respetivos *loops*, neste caso 3 (Fonte BA)

Durante a moldação formam-se no vidro (aliado ao facto de apresentar uma baixa condutibilidade térmica) tensões devido ao arrefecimento, a dissipação térmica não se vai processar com a mesma rapidez em toda a massa e estabelece-se um gradiente térmico desde o núcleo da peça até à sua superfície.

As fibras exteriores que estão em contacto com as paredes dos moldes e posteriormente com o ar ambiente, arrefecem muito mais depressa, ficam mais rígidas e contraem enquanto as fibras interiores ainda quentes se encontram num estado viscoelástico. À medida que o interior vai arrefecendo e o gradiente térmico deixa de ser tão acentuado, as fibras interiores também se contraem, só que não o vão poder fazer livremente devido à oposição das fibras rígidas exteriores ou superficiais (Shelby 2005).

Como se pode ver pelo esquema da Figura 25 o fundo da garrafa arrefece mais rápido que o interior o que vai resultar em tensões termicamente induzidas.

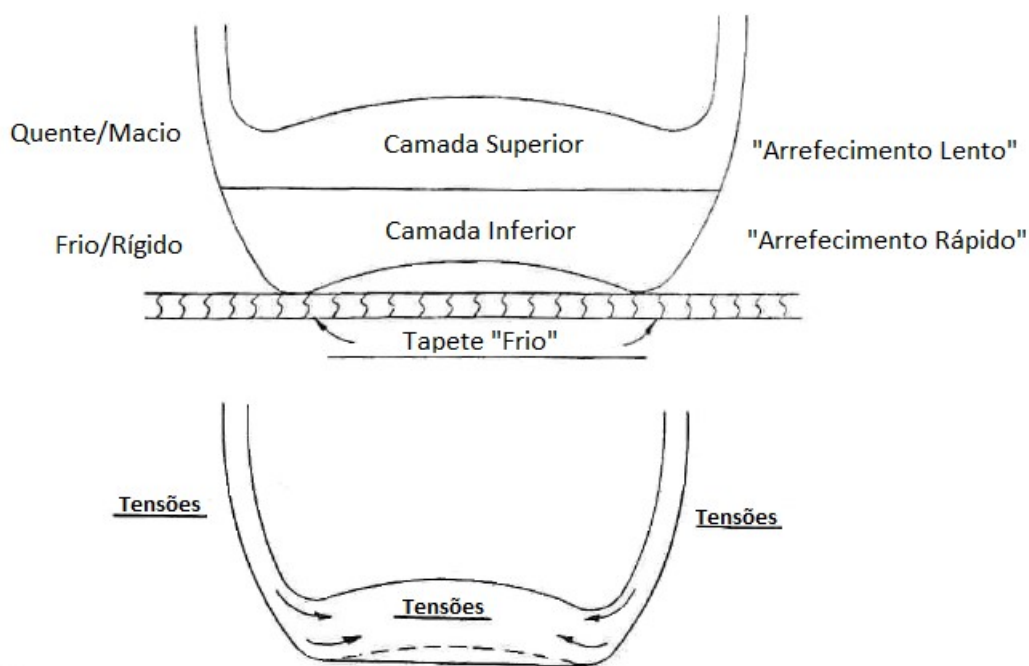


Figura 25- Esquema de tensões (Fonte BA, adaptado)

Devido à existência destas tensões, as embalagens após levarem o TSQ, vão ter de ser recozidas, numa arca de recozimento. Basicamente, vai submeter as embalagens de vidro a um processo de reaquecimento e arrefecimento controlado.

O recozimento do vidro tem como objetivo reduzir as tensões internas residuais a valores mínimos, inferiores aos da tensão de rutura de modo a melhorar as propriedades mecânicas através de uma reorganização da estrutura molecular do vidro.

O processo de recozimento envolve, inicialmente, um aquecimento do vidro até à temperatura de recozimento, TSR (*Annealing point*). Após atingir essa temperatura, o vidro passa por um tempo de estágio suficiente para reduzir ou eliminar as tensões internas residuais, através da homogeneização da estrutura molecular. Seguidamente, dá-se o arrefecimento gradual a velocidade média baixa e uniforme, até à temperatura inferior de recozimento TIR (*Strain Point*) de modo a assegurar o não aparecimento ou recuperação de novas tensões internas residuais (40 a 50°C mais baixo que a TIR) (Figura 26).

A TSR é a temperatura a que, num dado vidro corresponde a uma viscosidade LOG 13,4 ($10^{13,4}$ poises), se dá uma redução drástica das tensões internas num curto espaço de tempo (poucos minutos). No vidro de embalagem corresponde a uma temperatura de 540 a 565°C, temperatura em que as características do vidro o tornam num sólido viscoelástico.

A TIR é a temperatura a que, num dado vidro corresponde a uma viscosidade LOG 14,6 ($10^{14,6}$ poises), se dá uma redução das tensões no espaço de tempo de horas. As temperaturas situam-se entre os 495 e 520°C, temperatura a partir da qual o vidro está predominantemente no estado sólido (Lillie 1931).

Para o vidro de embalagem, a diferença entre TSR e TIR é cerca de 35 a 45°C. Esta zona entre TSR e TIR é designada de zona de viscosidade de transição ou zona de recozimento.

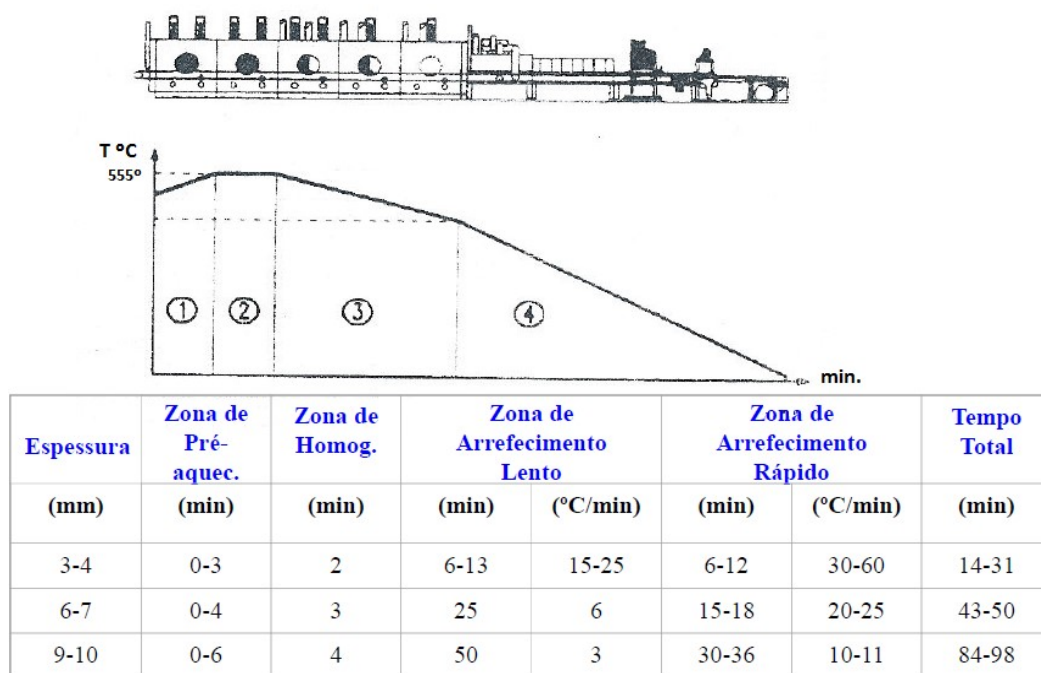


Figura 26 - Exemplo de curva de recozimento e variação de parâmetros para diferentes espessuras (Fonte BA)

Cada tipo de embalagem requer um ciclo de recozimento determinado, cuja duração e condições térmicas dependem das características do vidro, sua forma (geometria das peças) e espessura do fundo como se pode ver pela Figura 26. A área da fábrica até esta fase é designada por Zona Quente.

Após a passagem pela arca de recozimentos todas as embalagens são sujeitas a um Tratamento de Superfície a Frio (TSF), já explicado anteriormente (No ponto 2.4) por ser objeto de estudo deste projeto.

Fase 5: Inspeção e Controlo da Qualidade

Após a passagem na arca de recozimento e posterior aplicação de tratamentos de superfície, as garrafas são direcionadas para as máquinas de inspeção em linha (MIL). Estas máquinas são responsáveis por analisar defeitos e consequentemente rejeitar as embalagens defeituosas. Quando é considerada defeituosa, a embalagem é rejeitada e enviada para um circuito de reciclagem interna onde é moída e enviada, já como casco, para os silos de matérias-primas da composição respetiva. O controlo de qualidade nas MIL é feito à totalidade das unidades produzidas.

Fase 6: Embalagem e Paletização

Finda a inspeção das embalagens, as unidades conformes seguem para a paletização automática, onde são acondicionadas por camadas, em paletes, cobertas com uma manga termo retrátil de modo a proteger todas as unidades e facilitar o seu transporte. São posteriormente transportadas para o local de armazenagem. Esta segunda área que abrange desde a aplicação do TSF até à paletização é chamada de Zona Fria.

3.2 Qualidade

O departamento de qualidade tem como finalidade validar o produto final, assegurando que este apresenta, dentro de valores previamente definidos, as características desejáveis e requeridas pelos clientes. Tem, portanto, um papel fulcral, pois a visão final que o cliente vai ter da embalagem que foi fornecida pela BA está intrinsecamente ligada à equipa de qualidade

e como esta faz este controlo mais rigoroso ou não. Todos os produtos têm de estar em conformidade quer em termos de *design*, quer de conformidade.

A qualidade tornou-se numa das mais importantes variáveis de decisão na comparação entre produtos e serviços concorrentes, seja qual for a indústria ou setor em causa (Montgomery 2009). Desta forma a equipa de qualidade dispõe de um laboratório equipado onde efetua para cada linha de produção, testes às embalagens produzidas, tais como capacidades, TSF, TSQ, ovalização, verticalidade, espessura de ombro e de fundo, entre outros.

3.2.1 Tipos de Defeitos

Como a produção de embalagens de vidro é um processo muito variável, é inevitável o aparecimento de defeitos nas garrafas, existindo mais de uma centena destes. Porém estes podem ser agrupados em subgrupos tendo em conta a sua gravidade, pois há defeitos aceitáveis.

Na BA estão definidas 3 classes de defeitos: críticos, absolutos e relativos. Estes estão agrupados tendo em conta o seu nível de perigo, sendo que os mais graves são os defeitos críticos e os menos graves são os defeitos relativos.

- Defeitos críticos são defeitos que podem vir a lesionar o consumidor final, estando normalmente associados à zona da marisa e do gargalo, ou a contaminação do interior da garrafa com vidro partido. Na Figura 28 estão explicitadas as nomenclaturas para as diferentes zonas de uma embalagem de vidro.
- Defeitos absolutos são defeitos que poderão originar quebras nas linhas de enchimento, ou seja nem chegam ao cliente final, mas que criam reclamações por má qualidade do produto e perdas de vasilhame. Ocorrem com maior frequência que os defeitos críticos e são mais difíceis de detetar. Os mais comuns são os estalados (pequenas fissuras no interior do vidro e também denominados de sedas) e falhas de espessura.
- Defeitos relativos são defeitos não funcionais, normalmente de carácter visual.

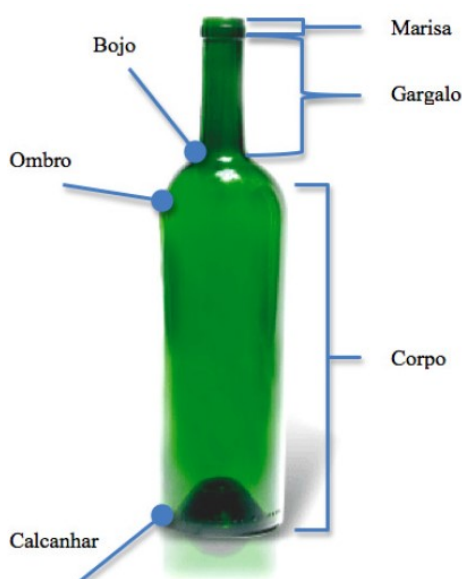


Figura 27 – Nomenclatura de um embalagem de vidro (Sanches 2015)

Tendo em conta os defeitos e a sua hierarquização, fica à responsabilidade da qualidade assegurar que haja cada vez menos defeitos e que não passe nenhum crítico, visto que se uma

embalagem de vidro chega ao consumidor final com um defeito deste tipo e lhe causar danos pode ditar o fim de toda uma empresa.

3.3 Principais Problemas Encontrados

O processo de deposição do TSF é um processo bastante simples. O responsável numa mudança de fabrico pela afinação das pistolas, só tem de se preocupar com a limpeza, espaçamento entre filas, altura, diâmetro e velocidade do tapete na arca. Sendo que a estrutura onde está o carrinho que transporta a pistola é automatizado, sendo acionado por uma célula de deteção que dá sinal para a pistola iniciar o seu movimento transversal ao tapete da arca. A compensação da pistola também é automatizada de modo a estar sempre centrada com a linha de garrafas em movimento. Contudo, analisando este automatismo nota-se que se pode melhorar este tempo de deposição (caso seja necessária uma grande concentração de TSF, que é o que se quer no cava), pois as pistolas ficam sempre um tempo em repouso em cada ponta à espera que seja dado novo arranque. Isto poderia ser melhorado diminuindo a velocidade do carrinho principal tendo em conta a compensação horizontal máxima que o braço da pistola pode fazer.

Outro problema encontrado no TSF, apesar de se fazer esse controlo, é o de obtenção das temperaturas de deposição do vidro. Regularmente (o que está definido na instrução de trabalho de cada referência), é feita a medição desta com um termómetro infravermelho, contudo não é de fácil manuseio e erros de medição podem ocorrer regularmente. Para além deste problema na obtenção da temperatura, denota-se também o facto das garrafas das pontas e as mais centrais estarem a temperaturas, normalmente, díspares. O que também vem da não uniformidade da distribuição de temperaturas dentro da arca de recozimento.

Na deposição de TSQ, embora estejam definidas temperaturas ideais tanto para o vidro como para o ar de recirculação que transporta o produto (consultar ponto 3.1 – fase 4), não há um controlo destas de modo a garantir que este é feito de uma maneira otimizada e eficaz. Existem termopares em todas as *hottes* de modo a controlar a temperatura do ar com produto, contudo verificou-se que a grande maioria estava avariado e que nem sequer tinha sido detetado, visto que não é feito o controlo.

3.3.1 Escolha da Linha Piloto

Como a garrafa em estudo foi o cava, as linhas escolhidas para o estudo foram as linhas 51 e 52 (Figura 28), que funcionam em *tandem* e onde é feita esta garrafa quando é necessária a sua produção.



Figura 28 – Linhas 51 e 52 pós arca de recozimento e TSF.

A bomba doseadora utilizada nestas linhas é da Dosatron (Figura 29), que faz o doseamento mecânico através de um pistão que se move com a força hidráulica da água e suga o produto, sendo de fácil regulação e utilização.



Figura 29 – Sistema de doseamento com bomba Dosatron

3.3.2 Objetivos Iniciais

Numa fase inicial, o projeto só estava focado para o TSF, pois acreditava-se que o maior problema era a variabilidade da distribuição em cada garrafa e também entre elas. Procedeu-se à definição dos parâmetros que influenciam a resistência ao risco e que poderiam ser sujeitos a variação no TSF, sem afetar em demasia a produção e rendimento de fábrica, de modo a testar e verificar se existia uma forma de a aumentar ainda antes de assegurar que a distribuição estava uniforme.

Outro dos objetivos prendeu-se também num estudo das bombas doseadoras usadas na fábrica de Avintes e uma nova que está a ser testada na fábrica em León, verificando qual destas consegue manter uma continuidade do produto aquando da aplicação o que vai proporcionar uma melhor distribuição.

4 Desenvolvimento do Projeto

Neste capítulo será apresentada a abordagem seguida e testes feitos, os quais permitiram seguir por outros caminhos e procurar outras falhas. A prioridade inicial foi compreender bem o processo produtivo, especialmente a parte dos tratamentos de superfície.

Com o evoluir do projeto e o conhecimento dos tratamentos, iniciaram-se testes com vista a tentar caracterizar a distribuição dos tratamentos e quais os parâmetros que aumentam a resistência ao risco. Para tal foram feitos, sequencialmente, testes de rugosidade à superfície de garrafas, testes de resistência ao risco, distribuição do TSQ e TSF, ângulo de deslize e por fim uma determinação de sólidos totais a amostras de suspensão de produto recolhidas nas bombas doseadoras.

4.1 Testes de Rugosidade

De modo a tentar encontrar um indicador da distribuição do TSF (pó de alumínio é um indicador qualitativo, estando dependente do discernimento e experiência do operador), foram efetuados ensaios de rugosidade às garrafas cavas recolhidas nas linhas 51 e 52.

Os testes de rugosidade foram conduzidos no laboratório de Tribologia do Departamento de Mecânica (DEMec) da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), usando um equipamento Bruker NPFLEX™ (Figura 30), que permite obter perfis de rugosidade 3D de áreas reduzidas de uma superfície sem contato, através da interferometria ótica.

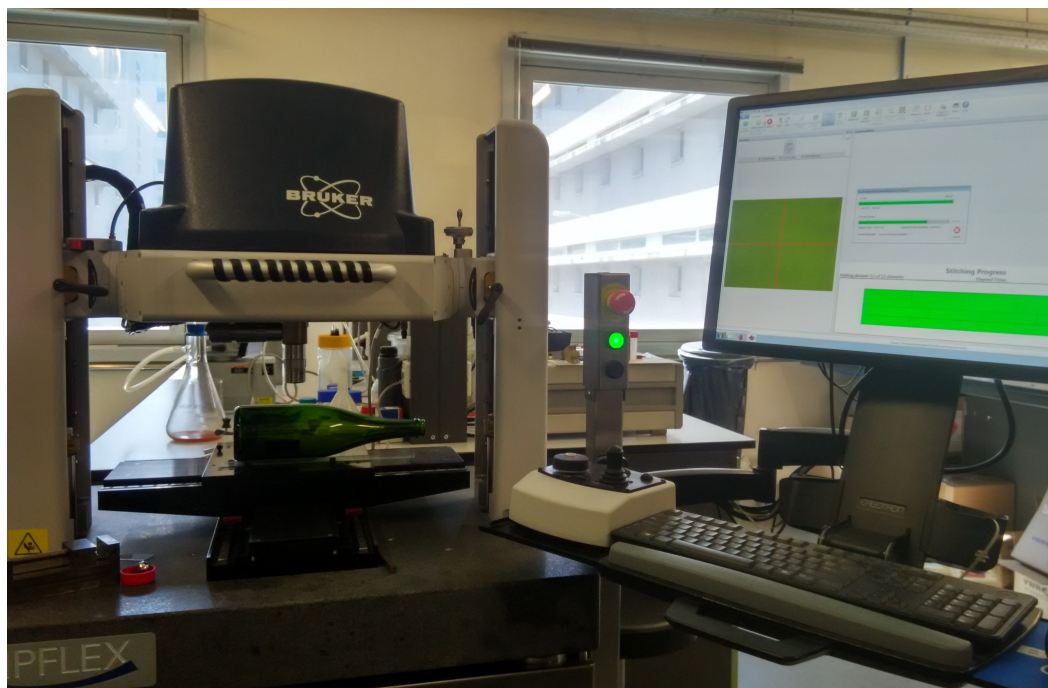


Figura 30 – Bruker NPFLEX™ (Laboratório Tribologia DEMec/FEUP)

4.1.1 Definição de Amostras

A recolha de amostras foi feita com o intuito de verificar se haveria uma variação na rugosidade da superfície da garrafa antes e após o TSF e também para diferentes temperaturas de deposição deste, como se pode ver na Tabela 3:

Tabela 3 – Recolha e tabulação das amostras para os testes de rugosidade

Código	Caudal (L/h)	Diluição (%)	Temperatura (°C)	TSF
A1	24	2	127.0	Sim
A2	24	2	127.0	Sim
A3	24	2	127.0	Sim
B1	24	2	137.4	Sim
B2	24	2	137.4	Sim
B3	24	2	137.4	Sim
C1	24	2	115.0	Sim
C2	24	2	115.0	Sim
C3	24	2	115.0	Sim
D1	24	2	Na	Não
D2	24	2	Na	Não
D3	24	2	Na	Não
P	na	na	Na	Sim

Foram recolhidas 3 amostras nas mesmas condições sendo agrupadas em subgrupos (A, B, C e D), de modo a efetuar o ângulo de deslize. O que difere entre os subgrupos A, B e C, é a temperatura do vidro na deposição do TSF (Tabela 3). Quanto ao grupo D, este corresponde a garrafas retiradas antes do TSF, ou seja, só com o TSQ e posterior recozimento. A garrafa P, foi a que foi definida como padrão, que foi uma garrafa que estava no armazém, num set de garrafas que foram testadas anteriormente e que resistiu a um maior número de ciclos de resistência ao risco, sendo o objetivo caracterizá-la e defini-la como o padrão a atingir em termos de rugosidade, fazendo também uma análise da distribuição desta.

4.1.2 Resultados e Discussão

Ao serem realizados os testes verificou-se que estes eram muito morosos (uma das condicionantes da instrumentação utilizada), tendo demorado cerca de 4h a efetuar a medição de três garrafas, tendo sido escolhida uma com TSF neste caso a C3, outra sem TSF que foi a D2 e a garrafa P. Foram feitas quatro medições a duas diferentes cotas, o que dá um total de oito medições por garrafa. Tendo em conta as zonas críticas de maior contacto entre garrafas, definiu-se as cotas 1 e 2 como topo (t) e fundo (f), respetivamente, sendo que a cota 1 é logo abaixo do ombro e a cota 2 imediatamente acima do fundo (Figura 31). Foi analisada a rugosidade média (R_a) (explicado no ponto 2.6), numa área de 2mm^2 em cada medição, Anexo C.

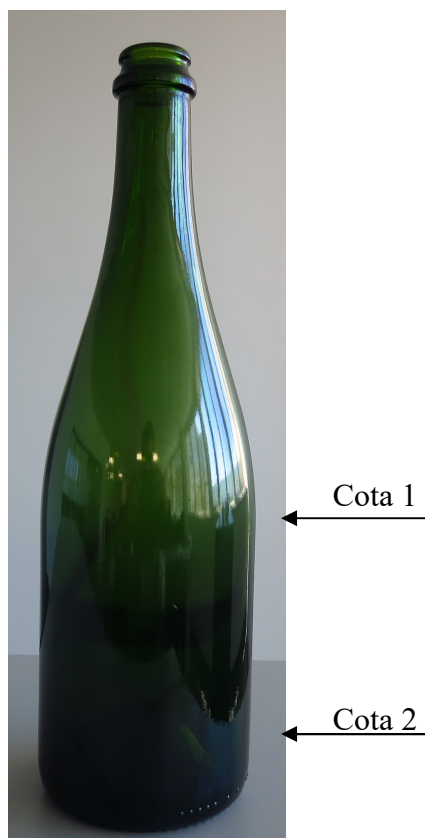


Figura 31 - Garrafa cava e respetiva localização das cotas a que foi medida

Atendendo à média das rugosidades médias (Tabela 4), verifica-se que os valores no fundo entre as três garrafas não diferem substancialmente, sendo que na D2 (sem TSF) para a C3 (com TSF) há um pequeno aumento da rugosidade, enquanto que no topo já ocorre o inverso, tendo o TSF diminuído drasticamente a rugosidade nesta zona, isto pode dever-se ao facto das pistolas de TSF não conseguirem chegar ao fundo com o tratamento ou/e também a uma má aplicação do TSQ no fundo das garrafas, que vai debilitar a capacidade de ancoragem que o TSQ fornece para o TSF ser depositado. No Anexo B mostram-se todos os resultados obtidos.

Tabela 4 – Média das rugosidades médias medidas

<i>TSF</i>	CÓDIGO	R_a Fundo (μm)	R_a Topo (μm)
<i>Sim</i>	C3	0,0636	0,0888
<i>Não</i>	D2	0,0625	0,1349
<i><u>Sim</u></i>	P	0,0765	0,0842

Os valores da garrafa P não diferem muito entre o topo e o fundo, o que transmite a sensação de haver uma melhor distribuição entre as duas zonas, contudo este método revela-se incapaz para caracterizar eficazmente a distribuição do revestimento das garrafas, uma das razões pelas quais não se realizaram mais testes de rugosidade em outras garrafas.

Visualmente nota-se que embora as rugosidades médias não difiram muito entre elas, a sua distribuição não é parecida, como se pode ver pelos perfis 3D da Figura 32 e da Figura 33. O que é, mais uma vez, indicativo de que este método não é capaz de indicar com fiabilidade a distribuição do TSF.

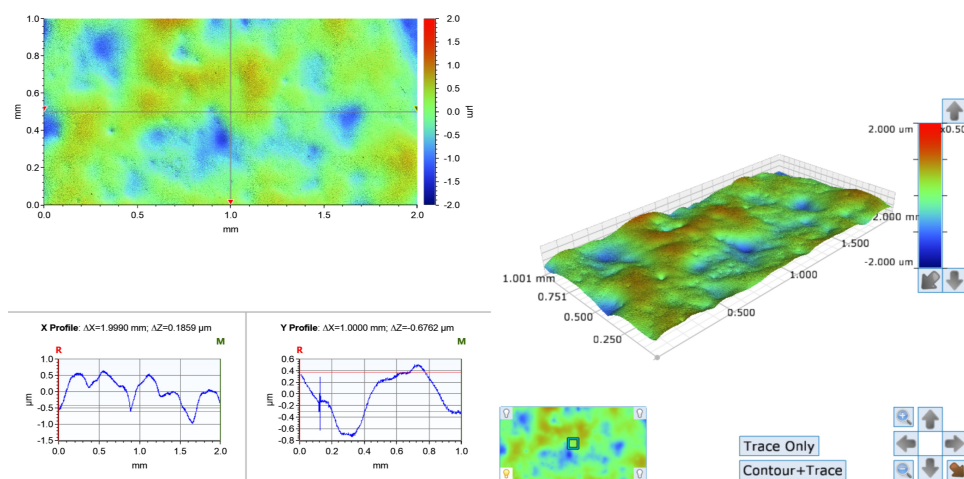


Figura 32 - Garrafa C3_f_1

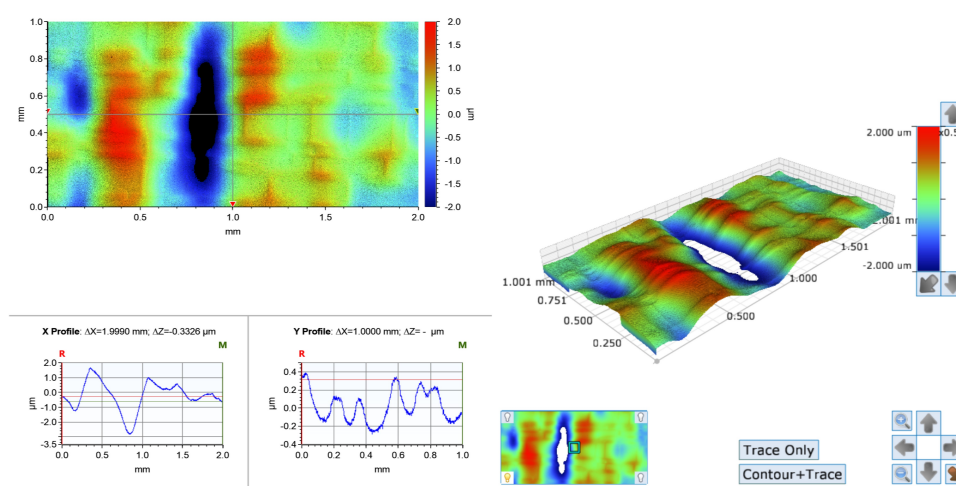


Figura 33 - Garrafa D2_f_1

Como se pode ver na Tabela 5 que contém as medições de CTU, em 5 pontos à volta da garrafa, nota-se que a garrafa sem TSF é que apresenta menor dispersão nos seus valores, tanto no topo como no fundo. Na garrafa C3 verifica-se uma dispersão muito grande nos valores do fundo. Na garrafa P, a dispersão de valores é muito grande no fundo e também no topo. Os valores de CTU entre C3 e P são muito díspares, revelando que se tem muito menos tratamento em C3.

Tabela 5 - Medição CTU

TSF	Código	CTU Topo			CTU Fundo		
		Mínimo	Média	Máximo	Mínimo	Média	Máximo
Sim	C3	61	66.2	76	38	56.6	73
Não	D2	40	45	51	37	42.6	49
Sim	P	55	70.6	91	33	73.8	93

Como se pode ver na Tabela 5 que contém as medições de CTU, em 5 pontos à volta da garrafa, nota-se que a garrafa sem TSF é que apresenta menor dispersão nos seus valores, tanto no topo (40-51) como no fundo (37-49). Na garrafa C3 verifica-se uma dispersão muito grande nos valores do fundo (38-73). Na garrafa P, a dispersão de valores é muito grande no fundo (33-93) e também no topo (55-91). Os valores de CTU entre C3 e P são muito díspares, revelando que temos muito menos tratamento em C3.

Após os testes de rugosidade pode-se concluir que:

- Este método não é adequado neste caso para caracterizar a distribuição do TSF.
- A distribuição da rugosidade é um indicador visual e desse modo qualitativo que nos pode fornecer alguma informação, contudo não o suficiente. A rugosidade média não difere muito entre garrafas na região do fundo. No Anexo C mostram-se todos os resultados obtidos por este método.
- Pode estar a ser feita uma má aplicação do TSQ no fundo da garrafa.
- A distribuição do TSF não é uniforme, sendo mais crítica no fundo.

Assim, foi decidido não se realizar mais testes através deste método.

4.2 Análise dos fatores que influenciam a distribuição dos tratamentos

Após os testes de rugosidade não terem corrido como o esperado, ou não terem dado a informação para inferir algo mais, tomou-se um outro rumo. Foram analisados e definidos os parâmetros que poderão afetar mais a deposição dos revestimentos nas garrafas. Foram então recolhidas várias garrafas atendendo a essa variação de parâmetros e realizados os testes de:

- Distribuição do TSQ
- Distribuição do TSF
- Resistência ao risco (fricção)
- Ângulo de deslize

Detalhes das garrafas:

Tipo: Cava

Peso: 822 g

Altura: 300 mm

Altura do ombro: 110 mm

Diâmetro: 88 mm

4.2.1 Definição de parâmetros que influenciam o TSF

Na Figura 34 vê-se os fatores que foram definidos como os que afetam a resistência ao risco, sendo que os primordiais são a distribuição dos tratamentos e a humidade (a camada de TSF vai-se desgastando com a humidade pois é hidrofílica). O esquema de cores utilizado serve apenas para ajudar na leitura e mostrar como foi feita a escolha dos parâmetros e quais os que foram escolhidos para estudar. A laranja o que foi variado nas garrafas para estes testes, tendo sido afetado apenas a distribuição do TSF, sendo alterada a diluição, o caudal e a temperatura de deposição. A roxo, que corresponde à estabilidade da diluição, foi outro teste que se fez, que consiste no estudo da continuidade das bombas doseadoras. A verde os parâmetros que não foram alterados.

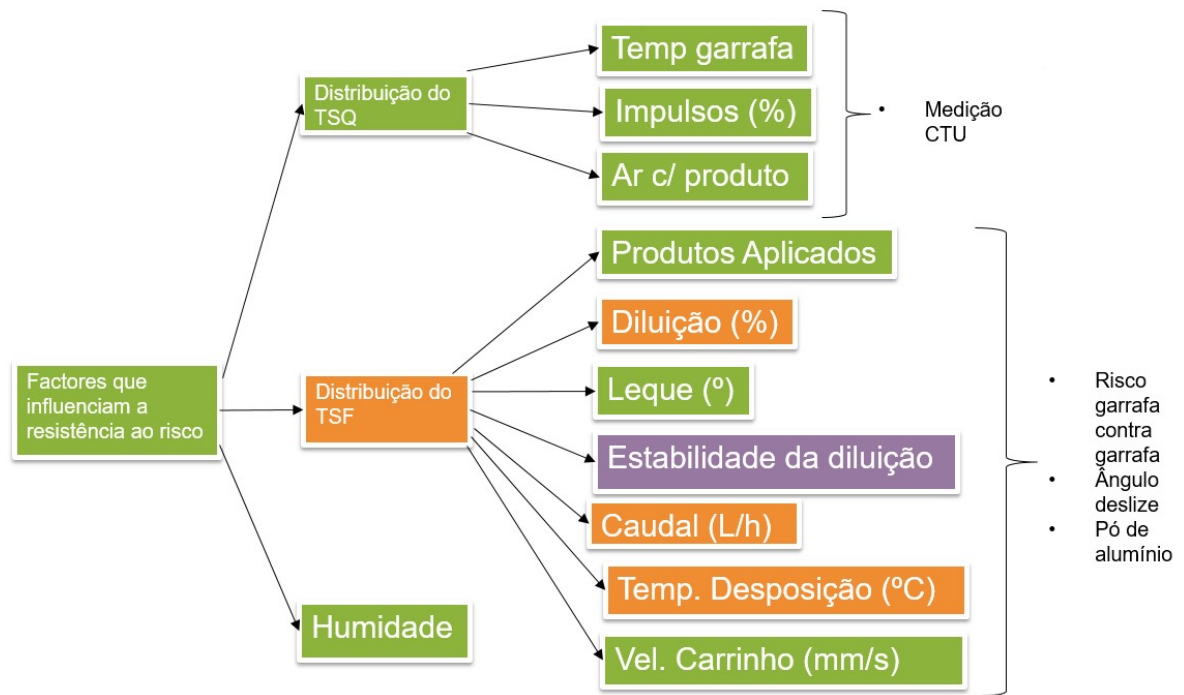


Figura 34 – Fatores que influenciam a resistência ao risco

4.2.2 Metodologia

Neste esquema apresenta-se o procedimento experimental realizado para obter as garrafas para análise.

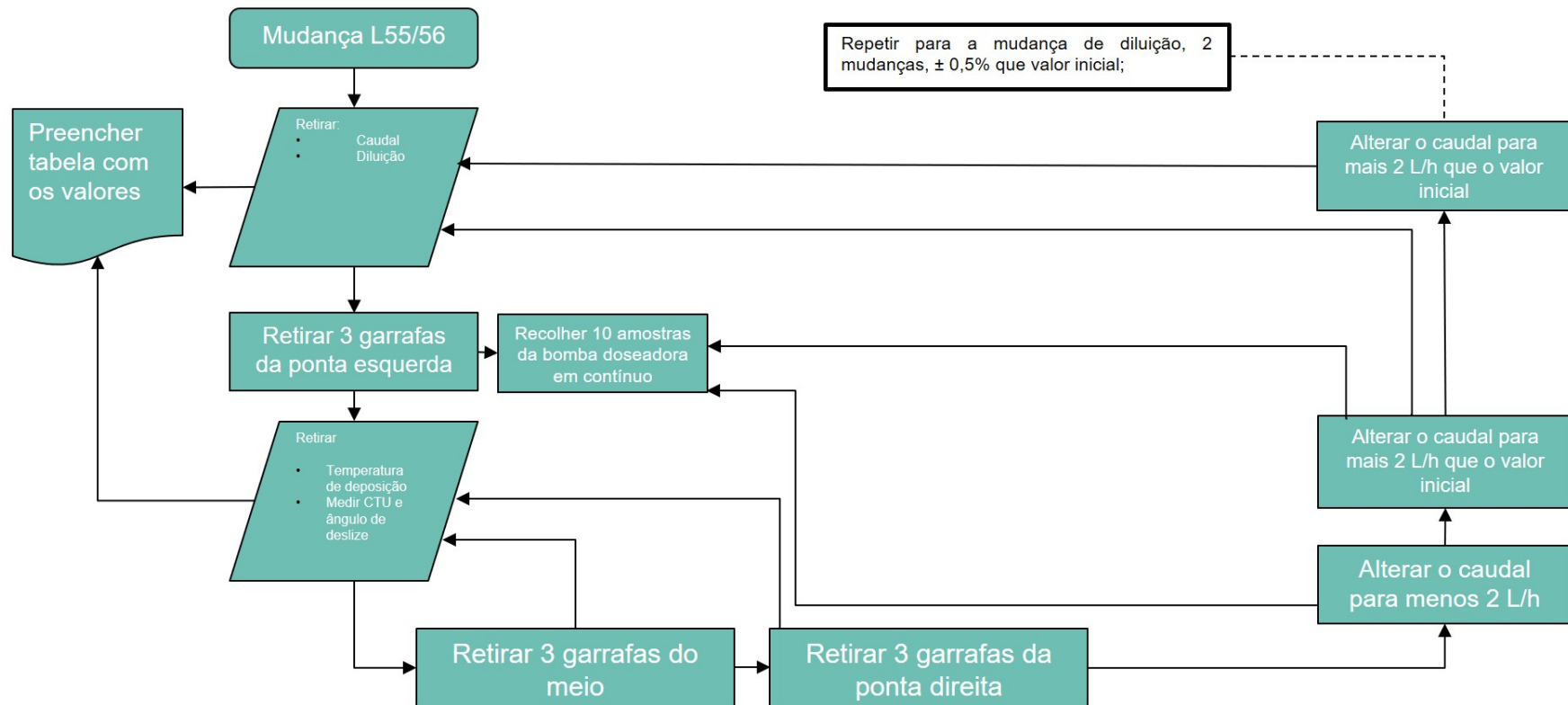


Figura 35 – Fluxograma seguido para a recolha de garrafas

Foram recolhidas nas mesmas condições 45 garrafas, que foram divididas em 15 subgrupos, tendo sido necessário recolher 3 idênticas para se poder fazer a medição do ângulo de deslize.

4.2.3 Codificação e recolha de valores das Amostras

As garrafas necessitaram de ser codificadas (Tabela 6) de modo a controlar quais os parâmetros correspondentes a cada subgrupo.

Cada número corresponde a uma temperatura do vidro na deposição diferente:

- 1- 154°C
- 2- 149°C
- 3- 126°C

Cada letra corresponde a uma alteração do parâmetro diferente de caso para caso (ver Tabela 6):

- A- Condições iniciais
- B- Aumento de 2 L/h do caudal
- C- Diminuição de 2 L/h do caudal
- D- Aumento de 0.5% da diluição
- E- Diminuição de 0.5% da diluição

Tabela 6 - Codificação e valores para cada parâmetro de cada subgrupo de amostras

Código	Caudal (L/h)	Diluição (%)	Temperatura (°C)
A1	20	2.0	154
A2	20	2.0	149
A3	20	2.0	126
B1	22	2.0	154
B2	22	2.0	149
B3	22	2.0	126
C1	18	2.0	154
C2	18	2.0	149
C3	18	2.0	126
D1	20	2.5	154
D2	20	2.5	149
D3	20	2.5	126
E1	20	1.5	154
E2	20	1.5	149
E3	20	1.5	126

4.2.4 Distribuição do TSQ

Analisando a distribuição do TSQ, Anexo D, sem contar com a região a 125 mm do fundo, em termos de CTU verifica-se que a média (entre os 25-100mm) se situa entre os 60 e os 80 CTU, o que deverá ser mais que suficiente para garantir uma boa adesão do TSF à garrafa. A partir dos 125 mm (sensivelmente a meio da garrafa, nota-se um decréscimo elevado do CTU, tendo por média de valores entre 30 e os 50 CTU, embora esporadicamente tenham aparecido garrafas com 60 CTU nestes locais, o que representa um grande decréscimo no TSQ. Este decréscimo é preocupante, pois apesar de se tratar de uma zona crítica de contato, não assegura de todo uma quantidade mínima aceitável de TSQ e como tal o posterior TSF é diretamente afetado.

A medição de CTU foi realizada a 10 pontos da garrafa e a 5 cotas diferentes. Para esta garrafa especificou-se, pela qualidade, valores médios entre os 60-70 CTU e mínimos de 50 CTU.

Na Figura 36 vê-se um mapa da distribuição do CTU na garrafa A2 e assinalado a azul estão os pontos onde se vê um défice de camada.

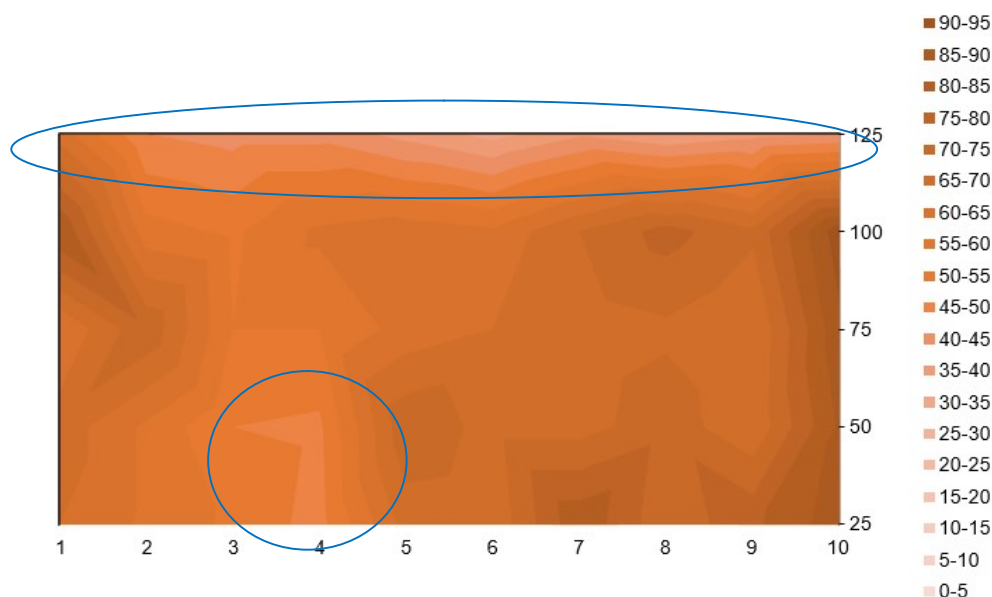


Figura 36 - Distribuição do CTU na garrafa A2

Na Tabela 7 estão os resultados das medições de CTU em 10 pontos a 5 cotas diferentes para a garrafa A2.

Tabela 7 – Medição de CTU na garrafa A2

A2											
Medição 1	Medição 2	Medição 3	Medição 4	Medição 5	Medição 6	Medição 7	Medição 8	Medição 9	Medição 10	Altura [mm]	Média
65	59	54	48	67	66	84	71	79	88	25	68
68	59	50	49	74	68	68	73	66	86	50	66
60	74	55	55	62	65	67	69	65	89	75	66
85	57	54	61	63	61	70	77	71	93	100	69
63	45	43	43	38	33	39	35	38	40	125	42

Na Figura 37 vê-se um mapa da distribuição do CTU na garrafa A2 e assinalado com círculos estão os pontos onde se vê um déficit de camada.

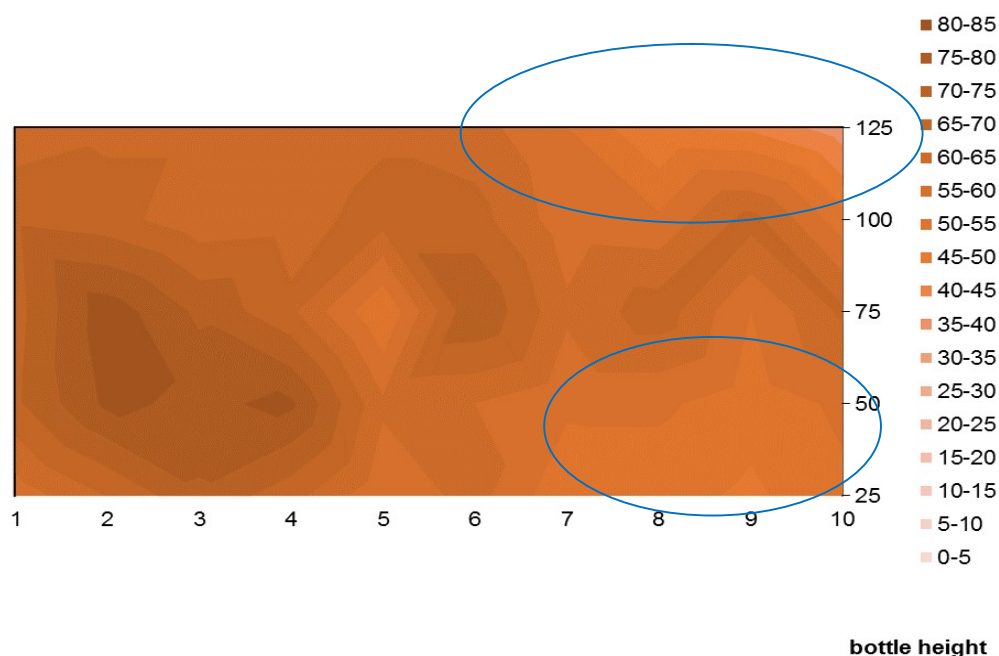


Figura 37 - Distribuição do CTU na garrafa E3

Na Tabela 8 estão os resultados das medições de CTU em 10 pontos a 5 cotas diferentes para a garrafa A2.

Tabela 8 - Medição de CTU na garrafa E3

E3											
Medição 1	Medição 2	Medição 3	Medição 4	Medição 5	Medição 6	Medição 7	Medição 8	Medição 9	Medição 10	Altura [mm]	Média
57	65	74	67	56	62	51	52	49	54	25	59
69	81	79	81	61	60	56	56	52	56	50	65
68	83	74	66	50	75	61	68	55	66	75	67
69	67	62	63	67	67	57	56	67	52	100	63
62	64	64	61	64	62	55	45	44	37	125	56

Como se pode constatar pela figuras e tabelas anteriores é claro que a distribuição do TSQ é muito defeituosa. Como se vê pelo código de cores, o que está a vermelho são os valores abaixo do mínimo, algo que não pode ocorrer. No Anexo D estão todos os resultados destes ensaios.

4.2.5 Distribuição do TSF

Há uma grande variação do TSF em cada garrafa analisada com o pó de alumínio (explicado no ponto 2.4), tal pode ser visto na Figura 38, que mostra as garrafas “molhadas” pelo pó e que nos dá uma visualização de como está distribuído o TSF em volta da garrafa como em altura, sendo a garrafa rodada 90° em cada posição da fotografia.

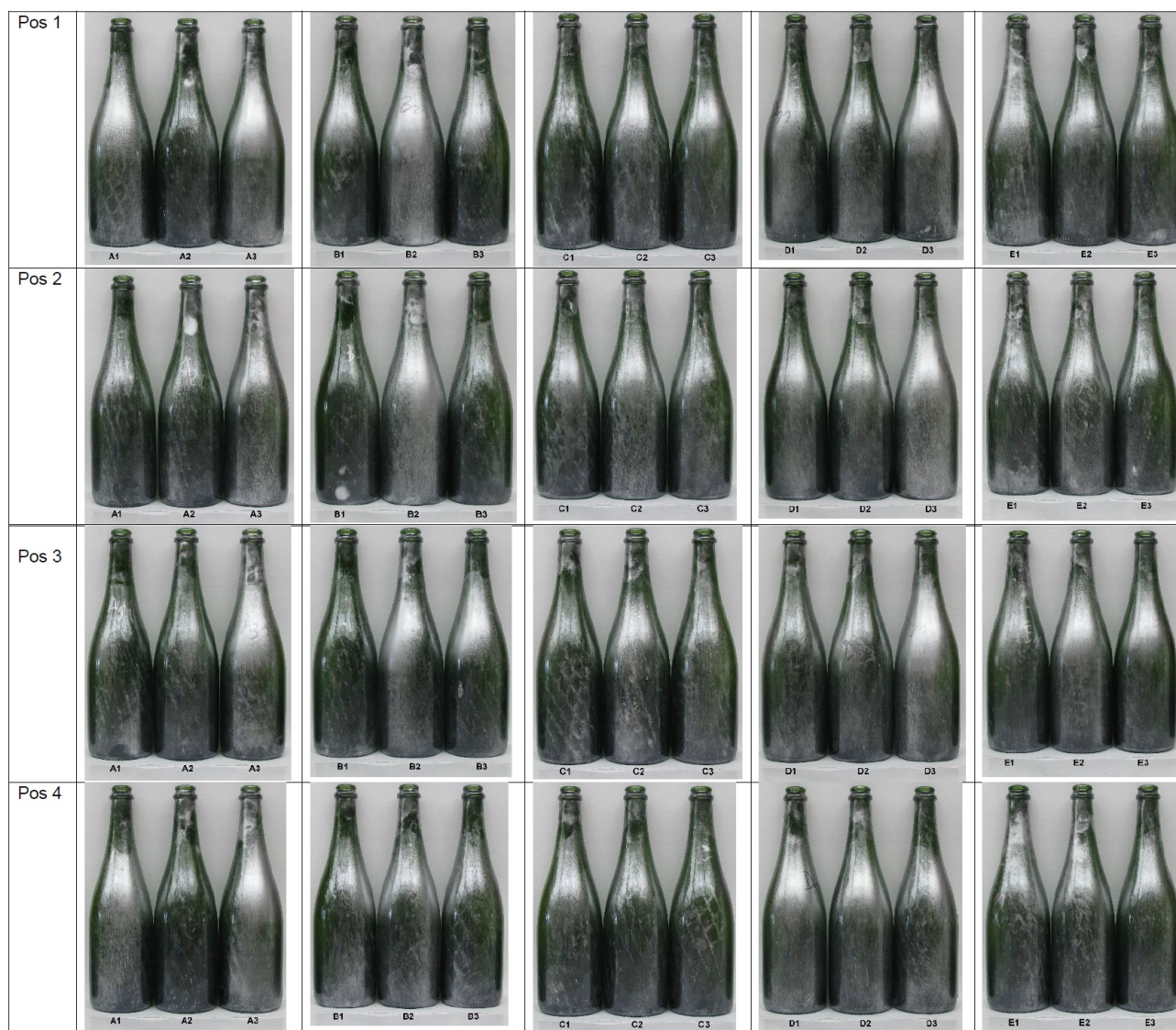


Figura 38 – Distribuição do TSF das amostras

É possível observar uma boa distribuição do TSF à volta da garrafa, o que é um bom indicativo.

Há uma grande variação também dentro de cada set, por exemplo vendo as garrafas do grupo A ocorre uma grande diferença entre as amostras A1 e A3 em comparação com A2. Isto também se revela válido para outras séries, como a B2 tendo uma maior quantidade que a B1 ou a B3. Estes resultados poderão ser justificados pela capacidade da bomba doseadora não conseguir manter a continuidade do produto na solução.

Entre as séries C e E verifica-se uma quantidade de TSF muito menor, o que já era expetável visto que correspondem a um decréscimo de caudal e de diluição respetivamente em cada um dos subgrupos.

4.2.6 Teste de Resistência ao Risco

Na Tabela 9 apresentam-se os resultados dos testes de resistência ao risco realizados a 75 mm do fundo, tal com os valores de CTU em 10 pontos a essa mesma cota. É também apresentado o coeficiente de variação, que é a razão entre o desvio padrão e a média do ensaio de resistência ao risco. Permite então obter um indicativo quanto à dispersão dos valores de resistência ao risco, quanto mais baixo o valor menos variação existe entre resultados, logo melhor distribuição.

Tabela 9 - Resistência ao risco de cada garrafa em 4 pontos e respetivo valor de CTU medido em 10 pontos a 75mm do fundo da garrafa

	Resistência ao risco a seco, F=200N					CTU Medida em 10 pontos a 75 mm de altura										Média CTU	Coeficiente de variação (CV)
	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Ensaio 4	Média												
A1	700	545	500	350	524	85	71	70	49	83	66	69	70	64	67	69	0.24
A2	277	47	250	100	169	60	74	55	55	62	65	67	69	65	89	66	0.58
A3	245	400	625	525	449	48	61	60	67	65	64	60	61	55	56	60	0.32
B1	50	60	200	10	80	57	87	81	73	66	68	65	70	62	58	69	0.90
B2	325	595	575	450	486	75	77	73	68	57	69	71	80	74	61	71	0.22
B3	25	25	300	150	125	68	71	62	57	37	55	51	59	71	62	59	0.91
C1	16	425	25	75	135	57	58	72	72	50	52	62	64	76	77	64	1.25
C2	10	10	240	100	90	91	86	71	62	53	74	69	95	80	69	75	1.05
C3	75	45	10	40	43	88	75	64	75	52	67	44	54	64	68	65	0.54
D1	160	50	250	60	130	61	76	65	65	47	48	49	53	46	68	58	0.63
D2	350	175	44	475	261	61	84	90	70	61	64	65	65	57	69	69	0.63
D3	450	479	375	500	451	77	65	77	52	46	63	60	71	70	60	64	0.10
E1	25	10	25	10	18	79	99	90	87	65	76	81	73	71	77	80	0.43
E2	10	10	263	10	73	58	72	69	53	36	42	41	53	44	48	52	1.50
E3	250	97	200	100	162	68	83	74	66	50	75	61	68	55	66	67	0.41

No geral, vê-se que as garrafas que apresentam um maior número de ciclos de resistência ao risco possuem uma boa camada de TSQ, tais como as garrafas A1, A3, B2 e D3 (que corresponde às garrafas que apresentam uma melhor distribuição do TSF). Contudo as que apresentam piores

resultados como a E1, também apresentam uma muito boa camada de TSQ, o que pode ser devido ao facto de ser de um lote aplicado com uma menor diluição de TSF, o que revelou de facto num decréscimo elevado na resistência ao risco. O grupo C também apresenta maus resultados, embora contenham garrafas com boa distribuição de TSQ, isto também deve ser devido à diminuição do caudal.

As melhores garrafas estão presentes no grupo A, B e D, que correspondem às condições iniciais, aumento de caudal e aumento da diluição, respetivamente. A garrafa que resistiu mais foi a A1, porém a garrafa que apresentou verdadeiramente maior resistência no seu todo foi a garrafa D3, pois o seu mínimo de ciclos de resistência foi de 375 ciclos enquanto que a A1 foi de 350, sendo o ponto “frágil” mais resistente que esta última, para além de que apresenta um CV (Coeficiente de Variação) muito menor, o que indica uma maior uniformidade na garrafa.

4.2.7 Ângulo de Deslize

Na Tabela 10 mostram-se os valores obtidos para os ângulos de deslize para todas as garrafas analisadas de acordo com a Tabela 6.

Tabela 10 - Ângulos de deslize de cada subgrupo de garrafas

Código	Caudal (L/h)	Diluição (%)	Temperatura °C	Ângulo de deslize		
				Mínimo	máximo	Média
A1	20	2,0	154	12	15	14
A2	20	2,0	149	11	14	12
A3	20	2,0	126	8	11	9
B1	22	2,0	154	14	16	15
B2	22	2,0	149	8	8	8
B3	22	2,0	126	10	12	11
C1	18	2,0	154	13	17	14
C2	18	2,0	149	11	11	11
C3	18	2,0	126	12	14	13
D1	20	2,5	154	10	11	11
D2	20	2,5	149	8	13	11
D3	20	2,5	126	8	10	9
E1	20	1,5	154	16	21	19
E2	20	1,5	149	11	13	12
E3	20	1,5	126	10	10	10

Em geral o ângulo de deslize apenas mostra se o TSF foi ou não aplicado, não existe nenhuma relação com a resistência ao risco, porém em média um ângulo de deslize menor mostra uma melhor performance.

Conclusões:

- Em geral o caudal e a diluição usada de momento é adequada para uma grande resistência ao risco, visto que após serem aumentados, não se verifica uma maior uniformidade da distribuição do TSF.

- A grande variação na distribuição do TSQ, principalmente na região dos 125 mm pode ser devida à temperatura do vidro quando entra na hotte, havendo gradientes de temperatura elevados entre o centro da garrafa e o fundo.

4.2.8 Continuidade das Bombas Doseadoras

Com o intuito de analisar a continuidade das bombas doseadoras na aplicação do TSF na unidade fabril de Avintes, foram feitas recolhas de 10 amostras nas bombas doseadoras disponíveis. Na unidade fabril de Avintes são usadas duas bombas doseadoras, a Dosatron e a Prominent, sendo a primeira a usada nas linhas 51 e 52. Ambas têm um modo de funcionamento diferente, a Dosatron é uma bomba mecânica, enquanto a Prominent é elétrica. O funcionamento da Dosatron já foi referido no ponto 3.3.1, sendo que a maior diferença para a Prominent é o facto desta última funcionar por impulsos de produto, colocando num depósito de água, produto para a diluição que se pretende. Esta solução após feita vai sendo gasta conforme é depositada nas garrafas e quando o tanque está a um certo limite do fim, o sensor dá sinal e a bomba entra em funcionamento e enche-se de água de novo. A desvantagem deste método é o facto de estar guardado num tanque o líquido e se não for escoado rapidamente, vão-se formar bactérias (formação de uma espuma esbranquiçada). O escoamento do produto em garrafas ditas pesadas (subentenda-se vinho, champanhe, espirituosas, etc.), é lento, logo nestas linhas de produção usam-se tendencialmente as Dosatron.

Após a recolha das 10 amostras na Dosatron, no seu funcionamento, e na Prominent no tanque (com intervalo de 30 minutos entre recolhas), foi também pedido à unidade de fabril de León que fizesse uma recolha numa bomba nova (Taishi) que estão a testar e que funciona com um autómato. Esta é uma bomba “inteligente”, na qual se coloca a diluição que se pretende e através da medição da condutividade elétrica da mistura produto mais água (valor tabelado para várias diluições), esta ajusta automaticamente a mistura para manter a condutividade pretendida correspondente à diluição.

Foram então enviadas para análise as 30 amostras, 10 de cada bomba doseadora, para o laboratório da Escola Superior de Biotecnologia - Universidade Católica Portuguesa, de modo a determinar os sólidos presentes em cada solução.

Nas Figuras 39, 40 e 41 apresentam-se os gráficos com a percentagem em massa dos sólidos totais das 10 amostras para cada bomba doseadora.

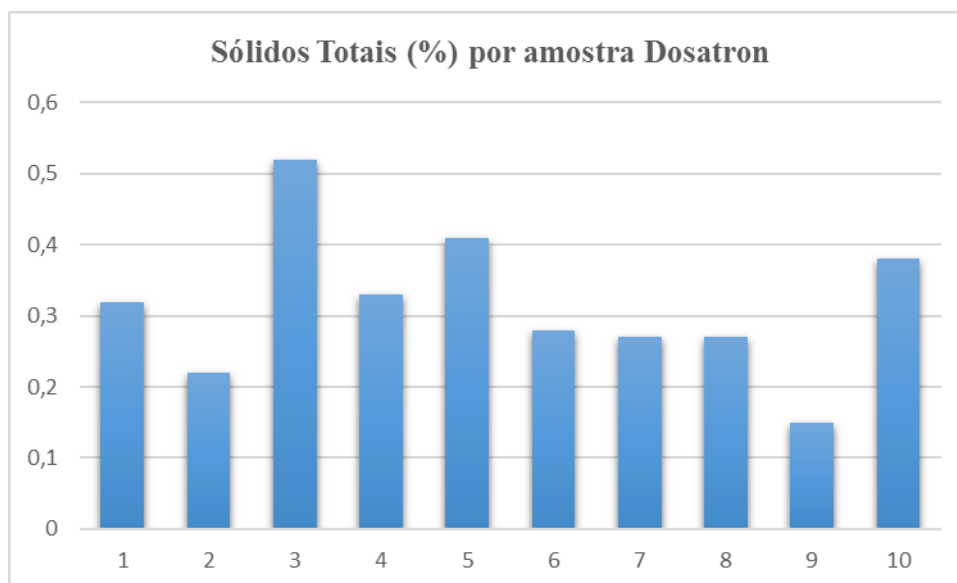


Figura 39 – Gráfico dos sólidos totais da bomba doseadora Dosatron

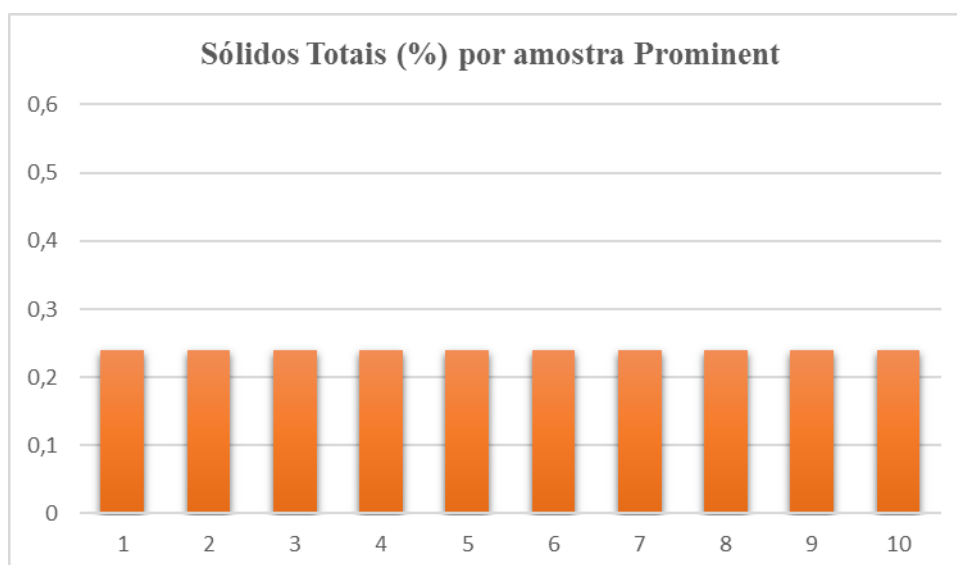


Figura 40 - Gráfico dos sólidos totais da bomba doseadora Prominent

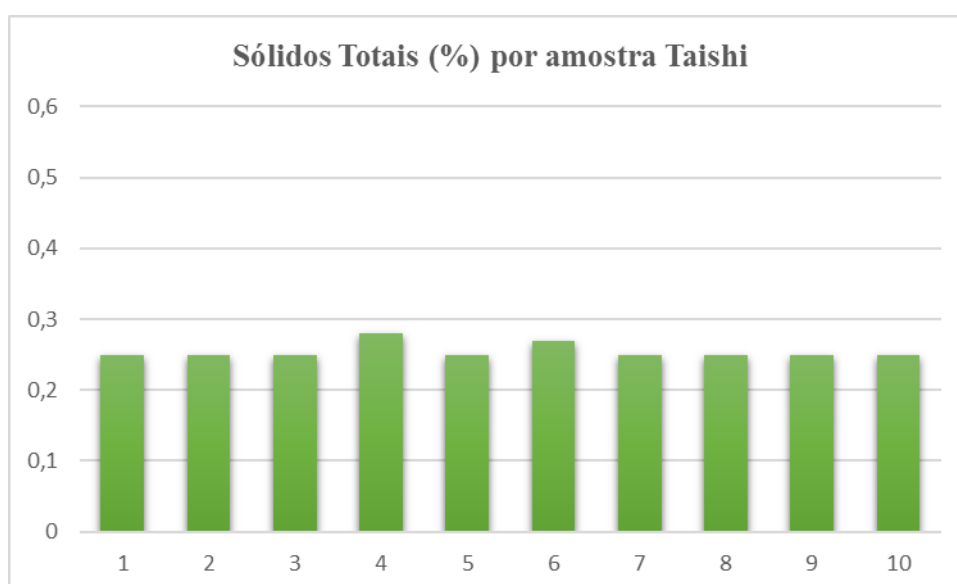


Figura 41 - Gráfico dos sólidos totais da bomba doseadora Taishi

Como se vê pelos gráficos a bomba da Dosatron revela uma grande incapacidade para manter uma continuidade de produto, sendo demasiadamente inconstante. A bomba da Prominent mantém sempre a sua diluição, contudo apresenta as limitações explicitadas anteriormente. Por fim a bomba “inteligente” da Taishi demonstra manter uma continuidade do produto, provando ser muito fiável e constante.

Conclusões:

- A bomba da Dosatron apesar do seu fácil manuseamento e afinação, não garante uma continuidade do produto, afetando a distribuição. Algo que já era expectável após os testes de distribuição do TSF (ver ponto 4.2.5);
- A bomba da Prominent teve muito bons resultados quanto à continuidade da diluição, porém não deve ser utilizada na garrafa cava, devido à criação de bactérias no depósito;
- A bomba da Taishi demonstrou ser muito fiável, embora ainda em testes pode ser uma boa aquisição pelo menos para a linha de produção do cava.

5 Conclusões e perspectivas de trabalho futuro

O maior objetivo deste projeto foi aumentar a resistência ao risco de embalagens de vidro, especificamente do cava, uma garrafa de champanhe que tem tido problemas com o *scuffing* no transporte para o cliente. Para tal foi preciso entender o conceito de revestimentos de superfície, neste caso de embalagens vidro, o que se revelou algo bastante complexo e desafiante. Foram feitos vários testes de modo a estudar a distribuição dos tratamentos.

Finalizados os testes, apresentados e discutidos os resultados, é possível apresentar várias conclusões e possíveis melhorias. Estas não foram implementadas, ainda, pois o cava entretanto não está a ser produzido devido a ser uma garrafa produzida sazonalmente. Algumas mudanças/melhorias que se poderão fazer seguem-se na seguinte enumeração:

- No TSQ, deve-se ter um maior controlo na temperatura do ar de recirculação nas *hottes* de deposição, neste ponto foi visto que os termopares existem, o problema é não estarem funcionais. Entretanto e após conversa com o departamento de instrumentação, estes já estão operacionais e já é possível controlar esta temperatura. A temperatura deve estar entre os 120 e os 180°C;
- Tendo em conta a má distribuição do TSQ, que vai afetar a distribuição do TSF, no cava a 125 mm do fundo, seria pertinente colocar um queimador direcionado nessa área de modo a aumentar a temperatura da superfície do vidro. Este pode ser o motivo pelo qual a distribuição não é tão uniforme, isso porque no fundo existe muito maior massa de vidro e subsequentemente a temperatura é bastante mais elevada;
- No TSQ dever-se-ia também controlar (tal como ocorre no TSF) periodicamente a temperatura da superfície das garrafas à entrada da *hotte* de deposição. A temperatura deve estar entre os 500 os 600°C;
- Garantir uma melhor uniformidade de temperatura, transversalmente, na arca de recozimento, de modo a replicar na garrafa todas a deposição do TSF posterior;
- No TSF, controlar a temperatura do vidro e ter em conta (no cava) o valor mais elevado da temperatura no fundo da garrafa. As temperaturas devem estar entre os 80 e os 160°C;
- A bomba da Dosatron revelou-se incapaz para manter a continuidade de produto (ver ponto 4.2.8) e que é comprovado pela variabilidade da distribuição de TSF (ver ponto 4.2.5). Deste modo é de grande importância encontrar uma alternativa, sendo a bomba da Taishi uma forte candidata devido aos seus resultados comprovados na capacidade de manter a continuidade de produto na solução.

Trabalhos Futuros:

No futuro será pertinente testar estas recomendações/soluções e fazer os mesmos testes de análise de distribuição de TSQ e TSF e de resistência ao risco, de modo a verificar se estas conclusões vêm de encontro ao objetivo esperado, que é o de aumento da resistência ao risco e que se espera ser obtido pela melhor distribuição em volta da garrafa dos tratamentos.

Quanto ao teste de resistência ao risco poderá fazer-se também um estudo, com atmosfera controlada, de como varia esta com a variação de humidade e também de temperatura. Deste modo ver como o material orgânico é afetado ao certo com a humidade relativa no transporte e possíveis variações de temperatura no seu transporte.

Outra análise que se podia fazer para aferir a distribuição do TSF, seria através de uma espectroscopia Raman, que é uma técnica fotónica que pode proporcionar, em poucos segundos, informação química e estrutural de quase qualquer material, composto orgânico ou inorgânico permitindo assim a sua identificação.

Referências

- FEVE. 2009. "EU Industry Map: Map of the EU container glass industry". Acedido a 17 de abril de 2017. http://feve.org/index.php?option=com_content&view=article&id=5&Itemid=6.
- Alves, Jorge Fernandes. 2012. *BA - Marca com história no vidro de embalagem*. Edited by S.A. BA Vidro: BA Vidro, S.A.
- Beauvais, Muriel, B Piezel, Farid Hamidi, Mélanie Villalobos, Claude Da Silva, Eric Martin, Davy Dalmas, and Etienne Barthel. 2010. "Film formation mechanism in glass lubrication by polymer latex dispersions." *Thin Solid Films* 518 (6):1689-1697.
- Bhargava, Atit, Fei Wang, Barry Wood, Geoffrey Higginbotham, and Ian Gentle. 2000. "Studies of polyethylene-coated tin oxide films on glass bottles." *Surface and interface analysis* 29 (10):663-670.
- Blocher Jr, John M. 1981. "Coating of glass by chemical vapor deposition." *Thin Solid Films* 77 (1-3):51-64. doi: [https://doi.org/10.1016/0040-6090\(81\)90359-X](https://doi.org/10.1016/0040-6090(81)90359-X).
- Bourhis, E.L. 2008. *Glass: Mechanics and Technology*: Wiley.
- de Almada-Lobo, Bernardo Sobrinho Simoes. 2007. "Lotsizing and scheduling in the glass container industry."
- Malengreau, N. 2000. Characterization of Scuffing On Returnable Bottles. Institut Scientifique du Verre (InV), Charleroi.
- Sanches, Hélder Rafael Vidigal. 2015. "Aplicação da Metodologia Smed na Indústria Vidreira."
- Shelby, J.E. 2005. *Introduction to Glass Science and Technology*: Royal Society of Chemistry.
- Snyder, Helen M. 1990. "Cold-end coatings in glass container manufacture." *American Ceramics Society Bulletin* 69 (11):1831-1833.
- Southwick, R. D., J. S. Wasylyk, G. L. Smay, J. B. Kepple, E. C. Smith, and B. O. Augustsson. 1981. "The mechanical properties of films for the protection of glass surfaces." *Thin Solid Films* 77 (1-3):41-50. doi: [https://doi.org/10.1016/0040-6090\(81\)90358-8](https://doi.org/10.1016/0040-6090(81)90358-8).
- Tavares, Sergio Manuel Oliveira. 2004. "Analysis of surface roughness and models of mechanical contacts." Ph. D. dissertation (Università di Pisa, 2005).
- van Wijk, Erik, Elf Atochem Vlissingen BV, Thorsten Sabrautzky, Th Goldschmidt AG, and BV Vlissingen. 1995. *GLASS COATING: THE KEY TO GLASS PRODUCTION*. "Sterling Publications Ltd, 1995.:125-128.

- PARRA, Bruno S, Ronaldo C Gennari, Fábio G Melchiades, and Anselmo O BOSCHI. 2006. "Rugosidade superficial de revestimentos cerâmicos." *Cerâmica Industrial* 11 (2):15-18.
- Gadelmawla, E. S., M. M. Koura, T. M. A. Maksoud, I. M. Elewa, and H. H. Soliman. 2002. "Roughness parameters." *Journal of Materials Processing Technology* 123 (1):133-145. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0924-0136\(02\)00060-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0924-0136(02)00060-2).
- Montgomery, Douglas C. 2009. *Introduction to Statistical Quality Control. Sixth Edition* ed.: John Wiley & Sons, Inc.
- Lillie, Howard R. 1931. "Viscosity of glass between the strain point and melting temperature." *Journal of the American Ceramic Society* 14 (7):502-512.

ANEXO A: Produção de vidro por setor na União Europeia

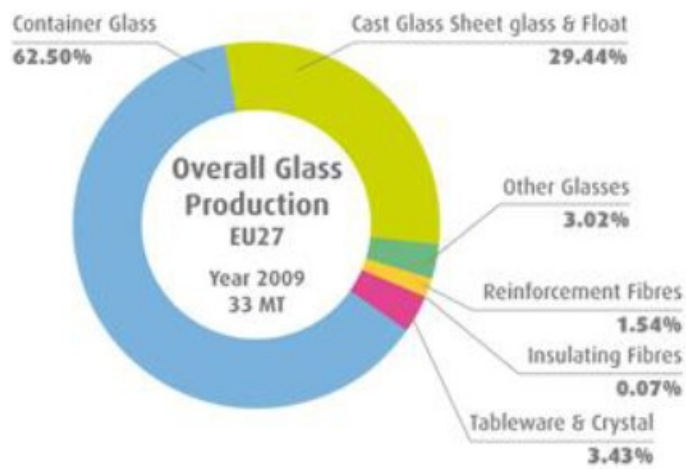


Figura 42 – Produção de vidro por setor na União Europeia. Fonte: (FEVE 2009).

ANEXO B: Rugosidade média das amostras medidas

Na tabela seguinte apresentam-se os valores de rugosidade média medidas nas amostras recolhidas:

Tabela 11 – Valores das rugosidades médias medidas

Nome	R _a (μm)
C3_f_1	0,0555
C3_f_2	0,0623
C3_f_3	0,0645
C3_f_4	0,0876
C3_t_1	0,0439
C3_t_2	0,0667
C3_t_3	0,1676
C3_t_4	0,0769
D2_f_1	0,0874
D2_f_2	0,0513
D2_f_3	0,0578
D2_f_4	0,0536
D2_t_1	0,2347
D2_t_2	0,1436
D2_t_3	0,1081
D2_t_4	0,0534
P_f_1	0,0890
P_f_2	0,0673
P_f_3	0,0846
P_f_4	0,0653
P_t_1	0,0863
P_t_2	0,0978
P_t_3	0,0889
P_t_4	0,0636

ANEXO C: Imagens dos testes de rugosidade

Apresentam-se neste anexo as imagens que foram obtidas dos testes de rugosidade.

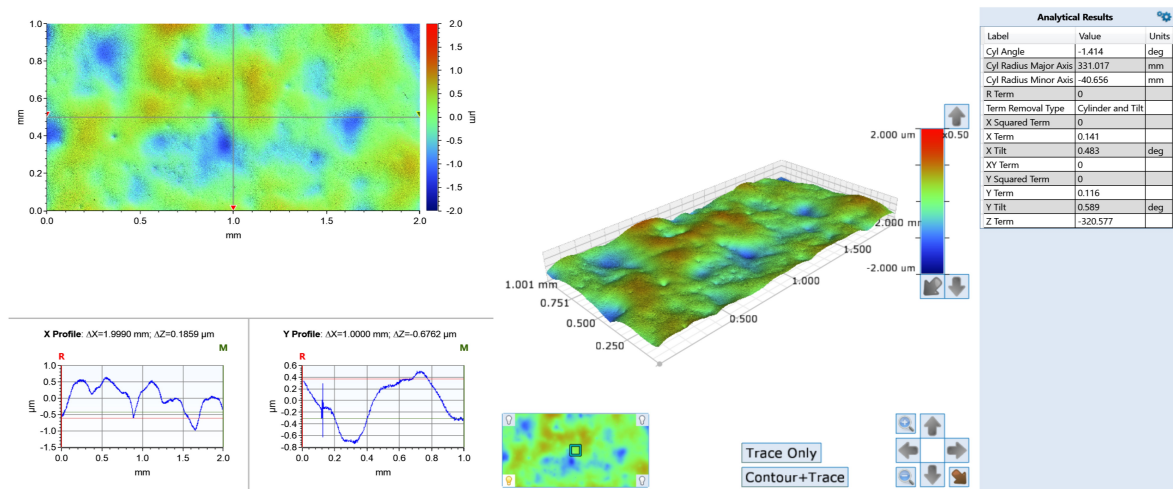


Figura 43 - C3_f_1

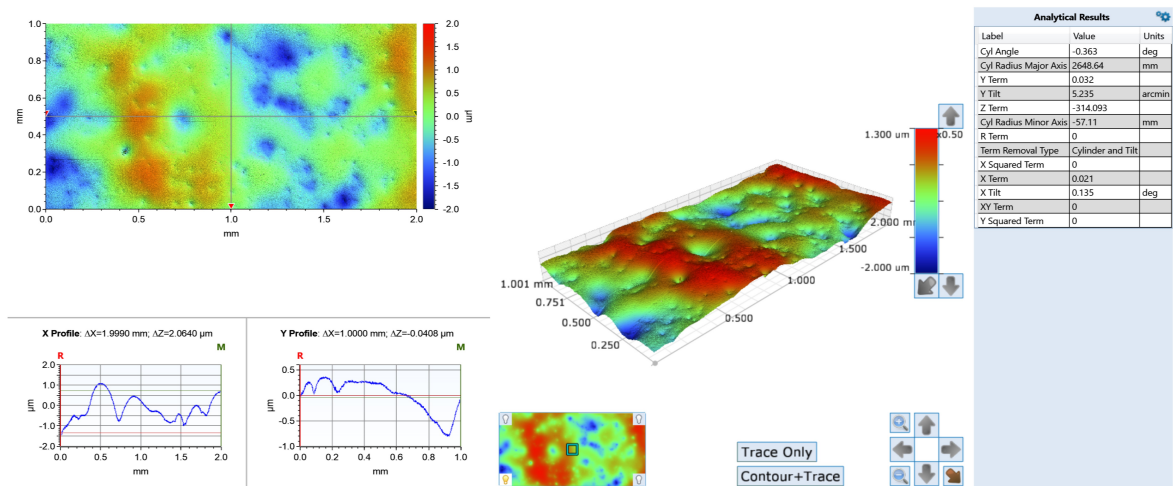


Figura 44 - C3_f_2

Análise da distribuição dos tratamentos de superfície em embalagens de vidro

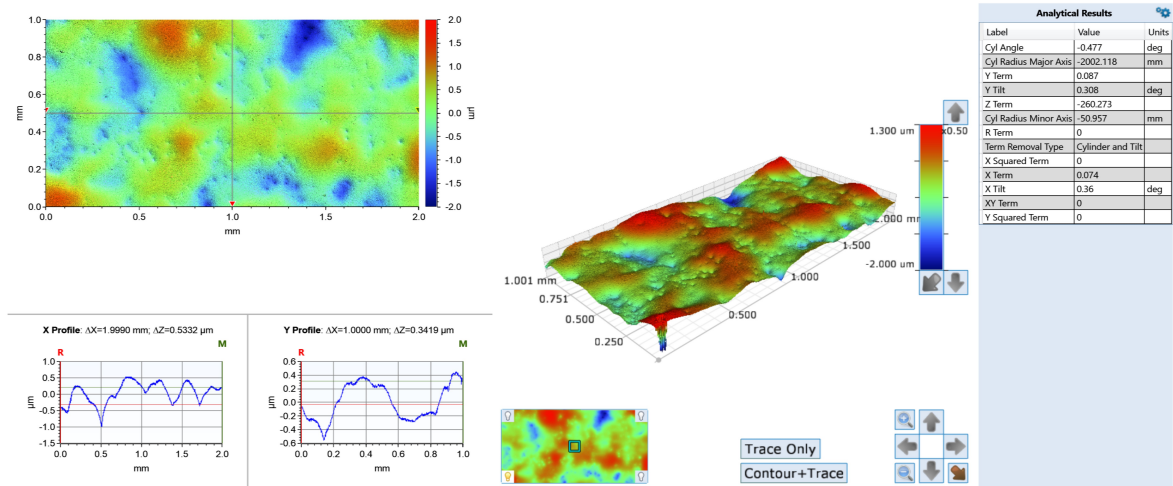


Figura 45 - C3_f_3

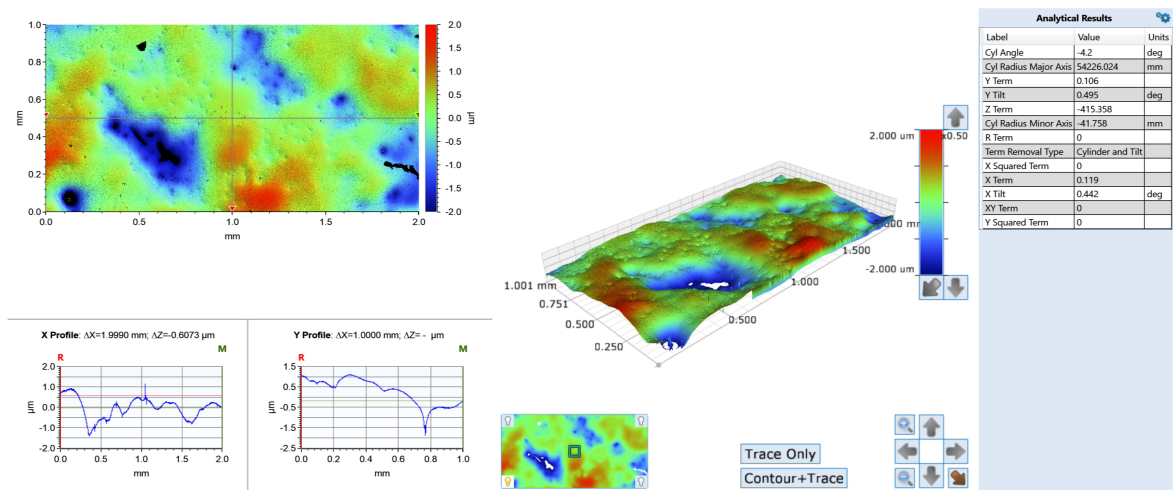


Figura 46 - C3_f_4

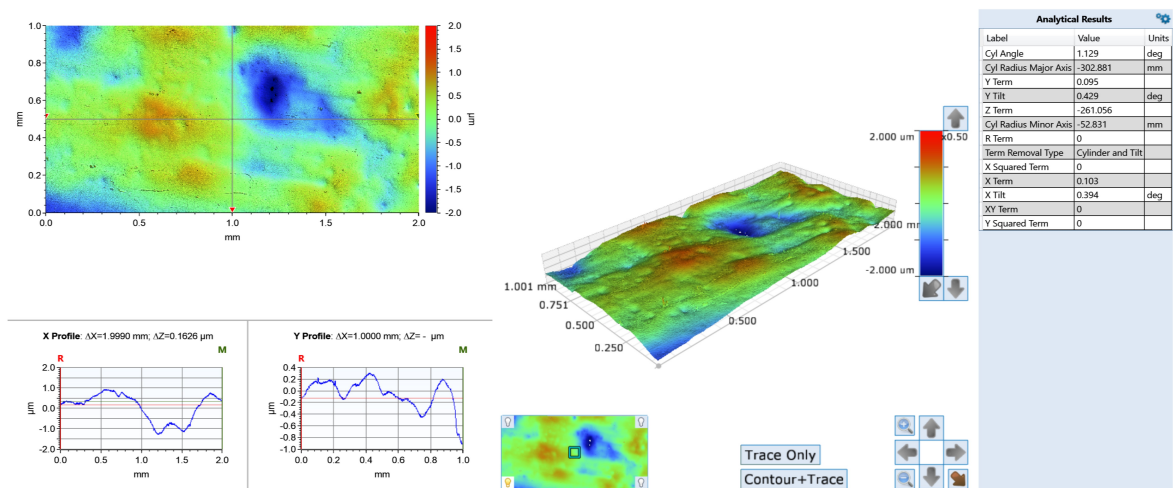


Figura 47 - C3_t_1

Análise da distribuição dos tratamentos de superfície em embalagens de vidro

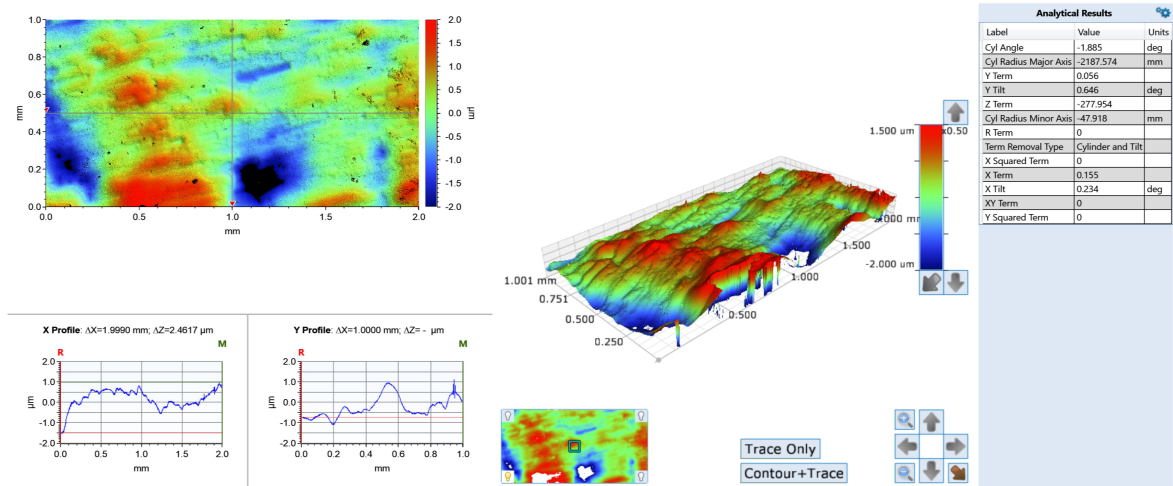


Figura 48 - C3_t_2

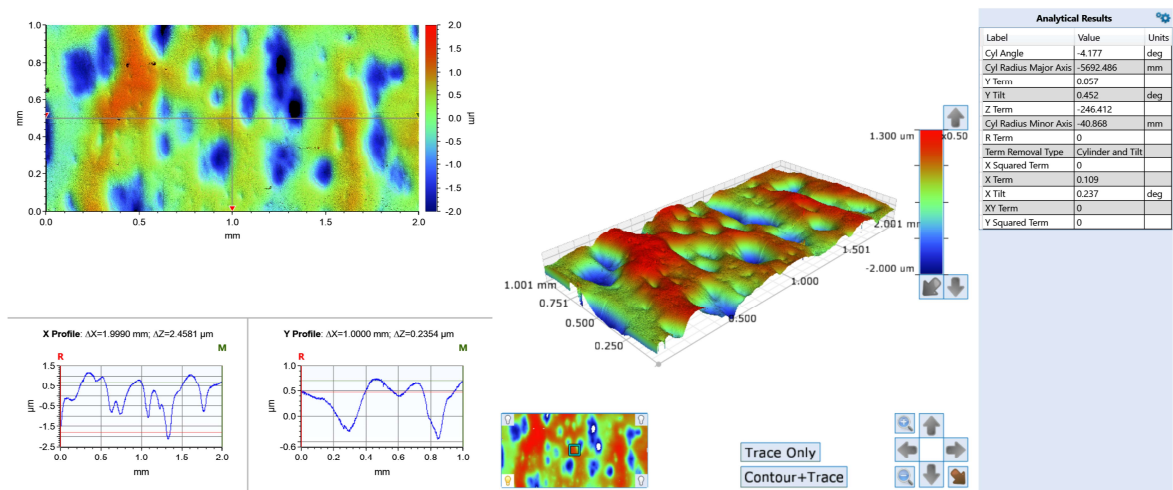


Figura 49 - C3_t_3

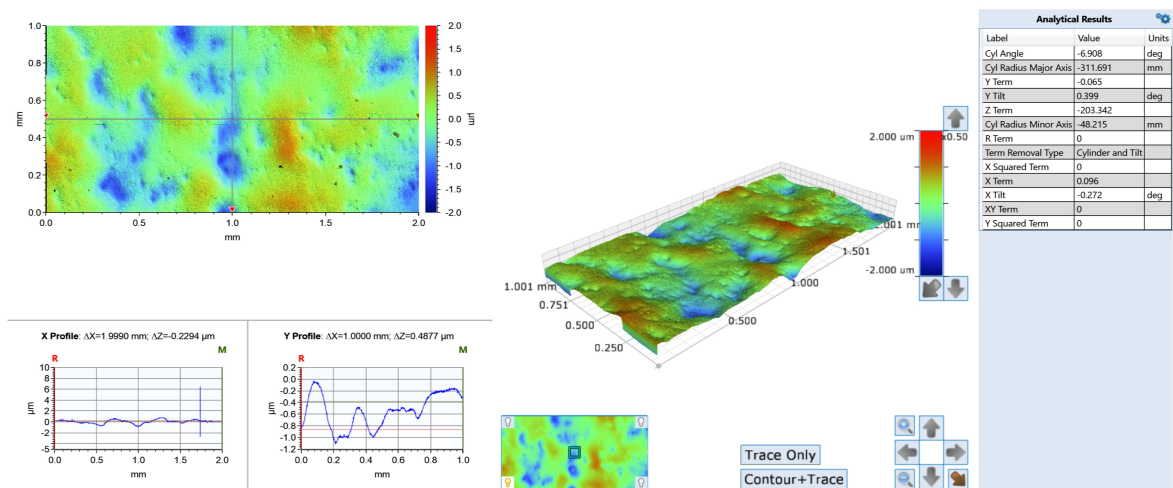


Figura 50 - C3_t_4

Análise da distribuição dos tratamentos de superfície em embalagens de vidro

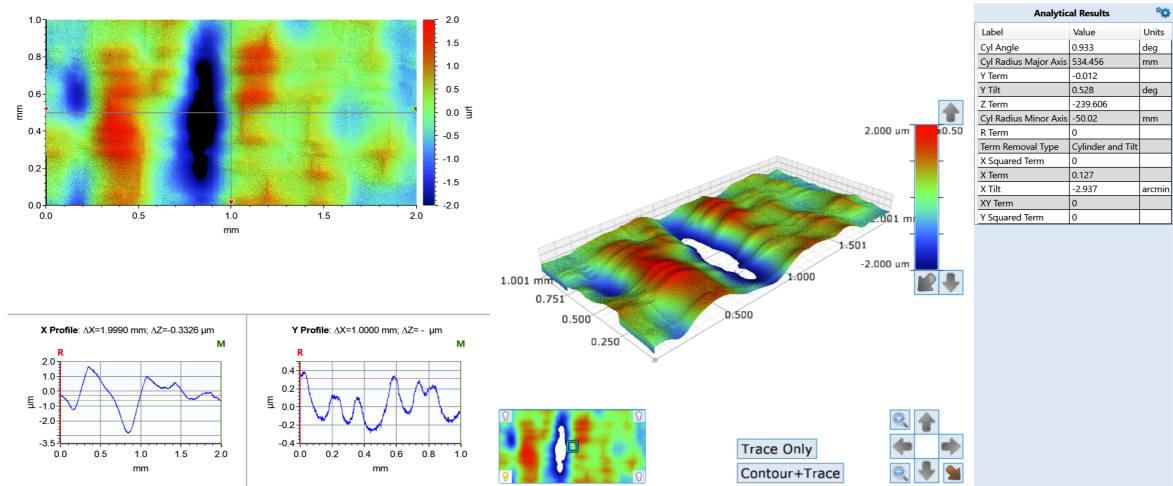


Figura 51 - D2_f_1

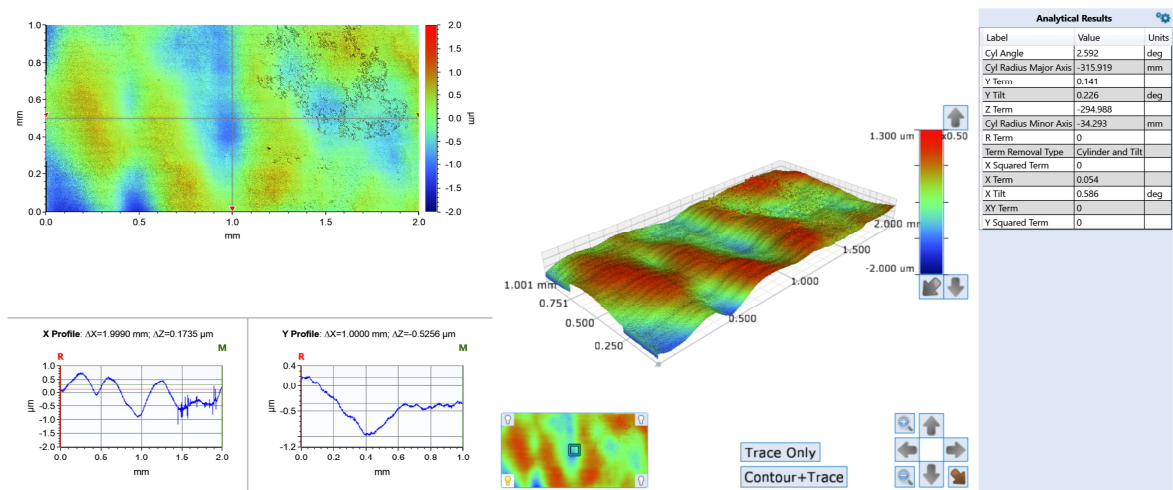


Figura 52 - D2_f_2

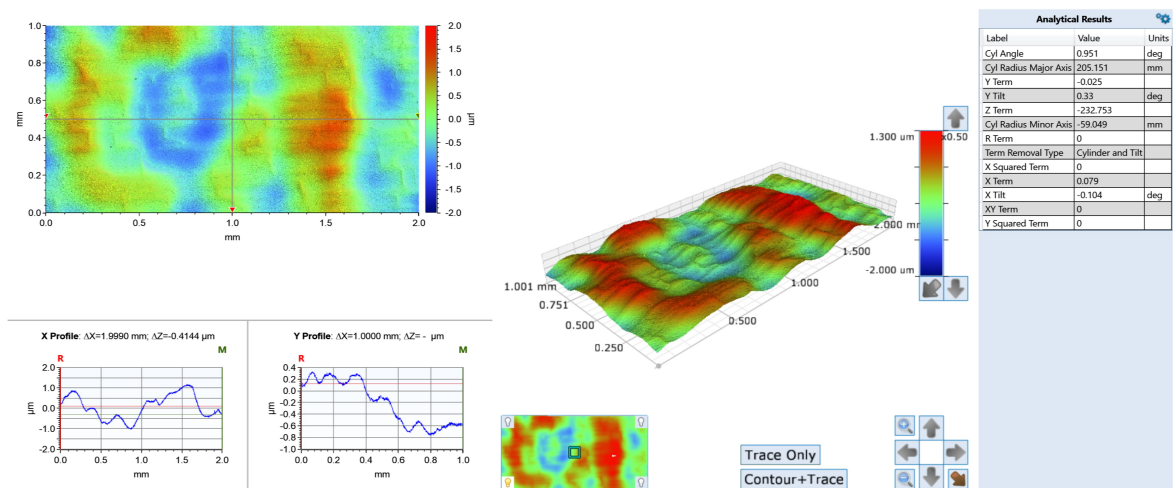


Figura 53 - D2_f_3

Análise da distribuição dos tratamentos de superfície em embalagens de vidro

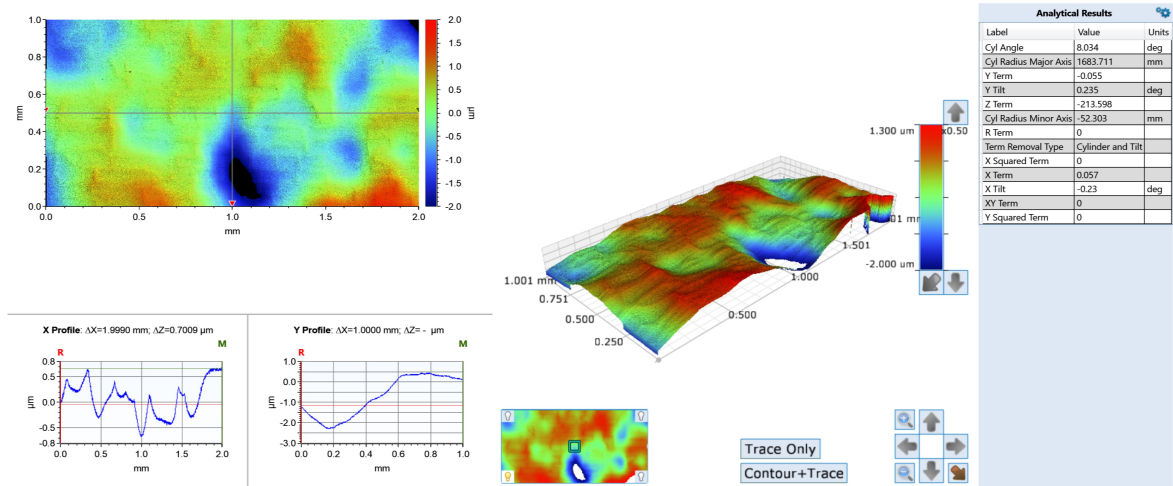


Figura 54 - D2_f_4

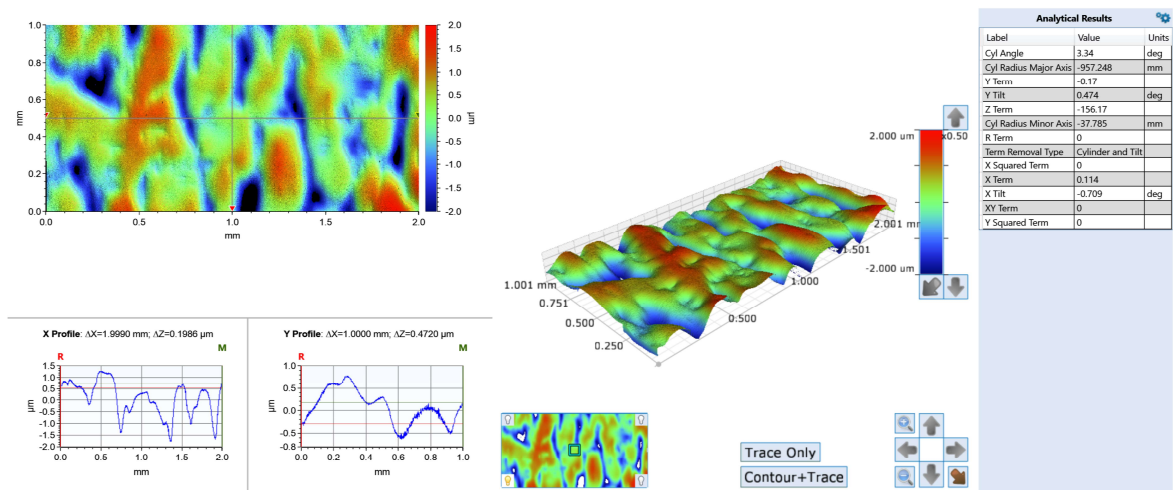


Figura 55 - D2_t_1

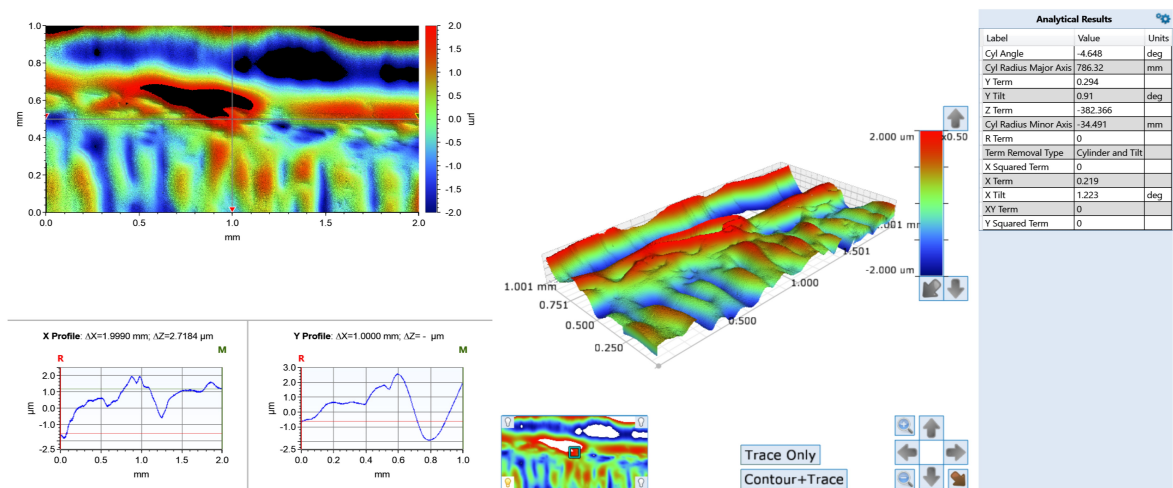


Figura 56 - D2_t_2

Análise da distribuição dos tratamentos de superfície em embalagens de vidro

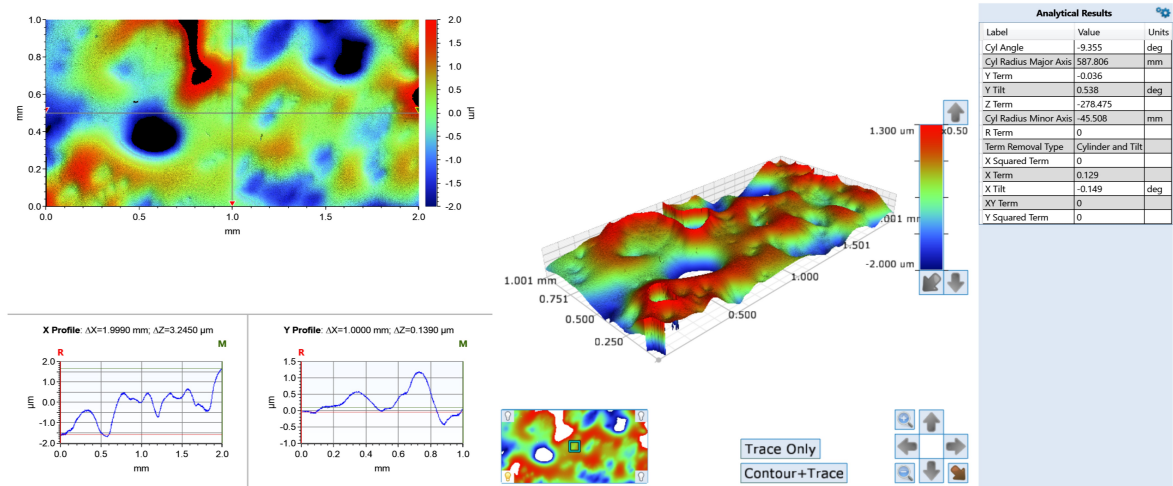


Figura 57 - D2_t_3

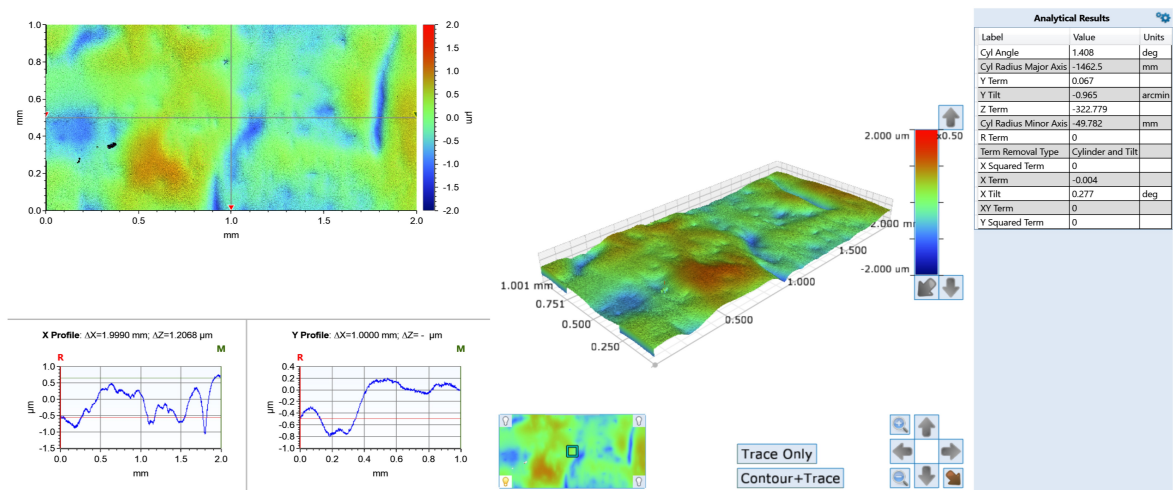


Figura 58 - D2_t_4

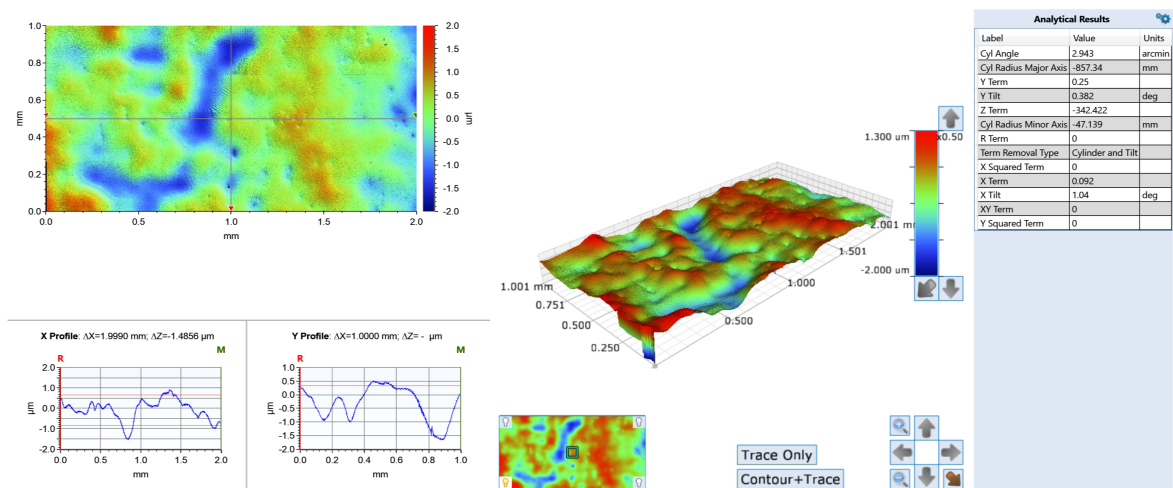


Figura 59 - P_f_1

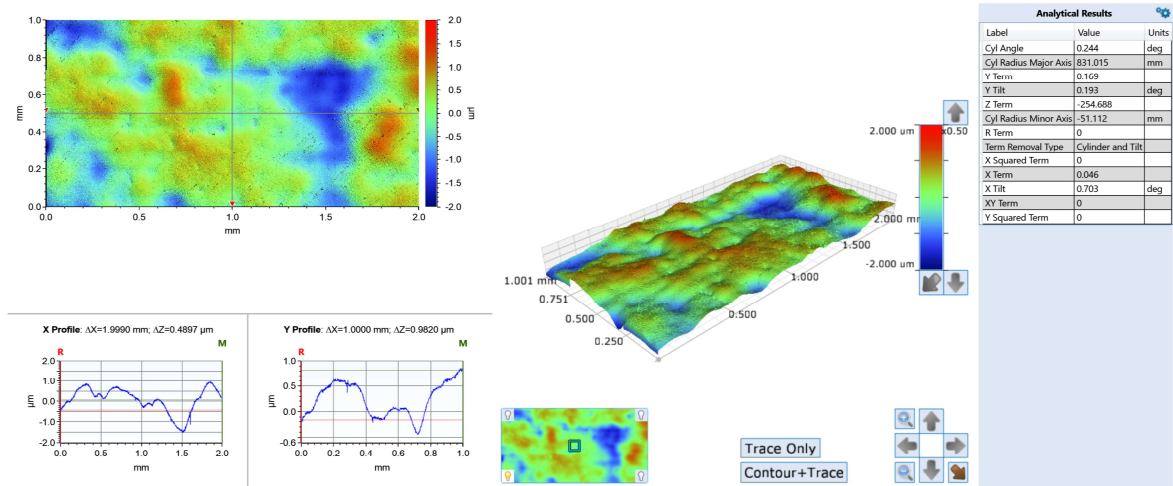


Figura 60 - P_f_2

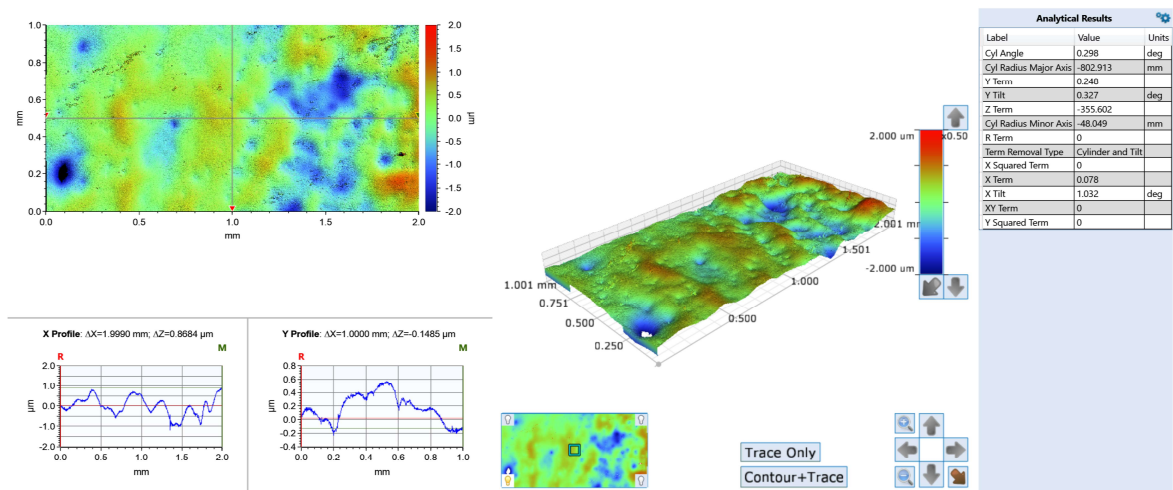


Figura 61 - P_f_3

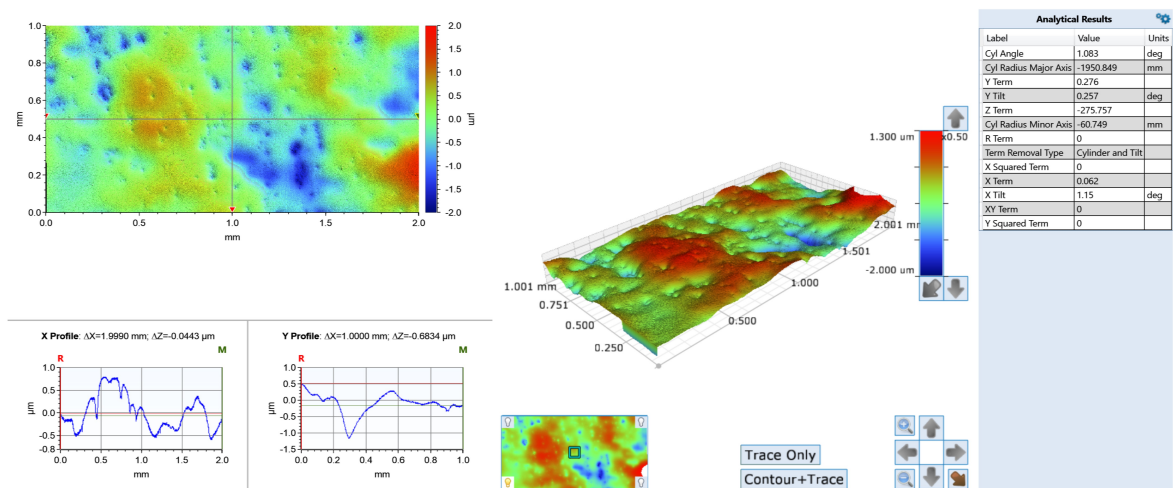


Figura 62 - P_f_4

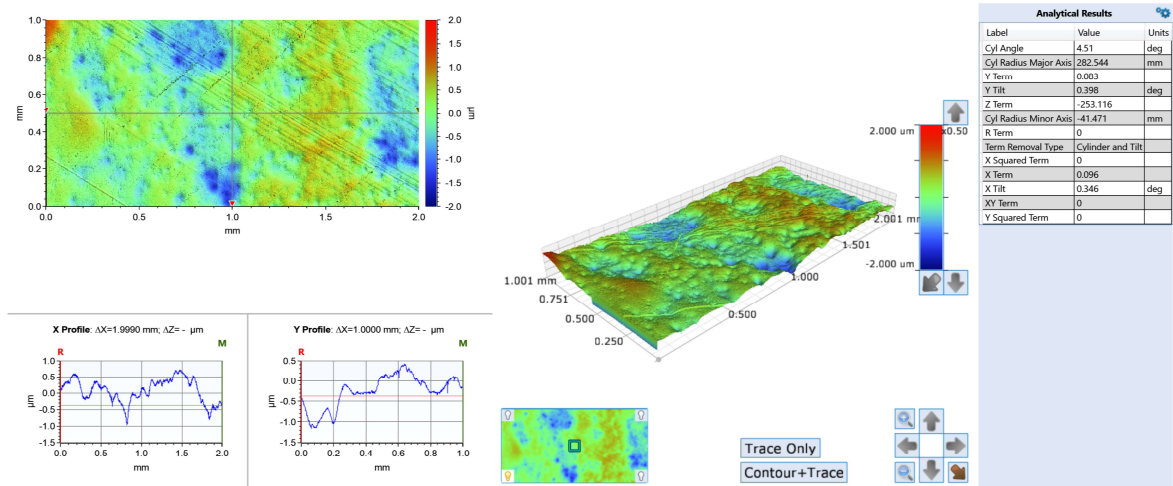


Figura 63 - P_t_1

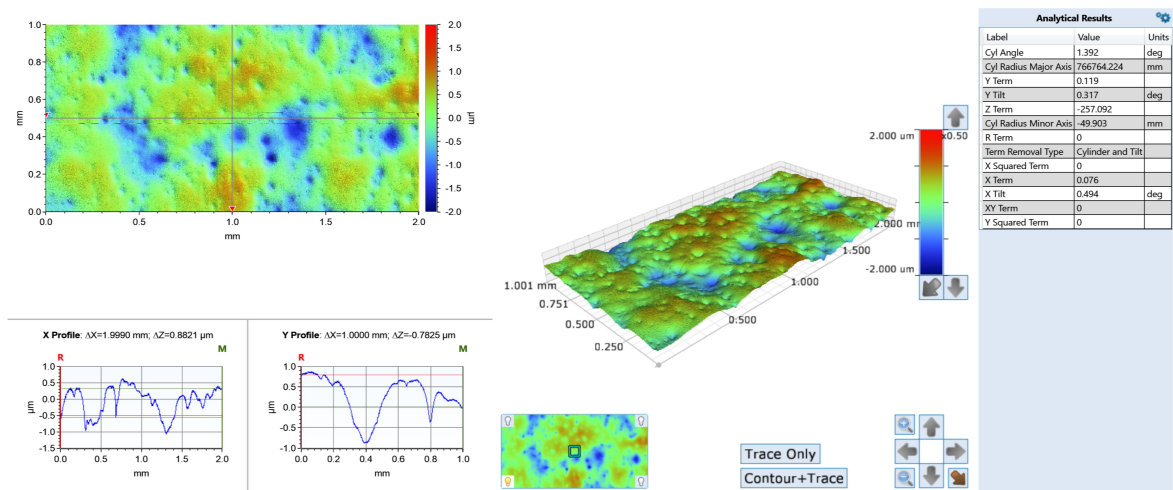


Figura 64 - P_t_2

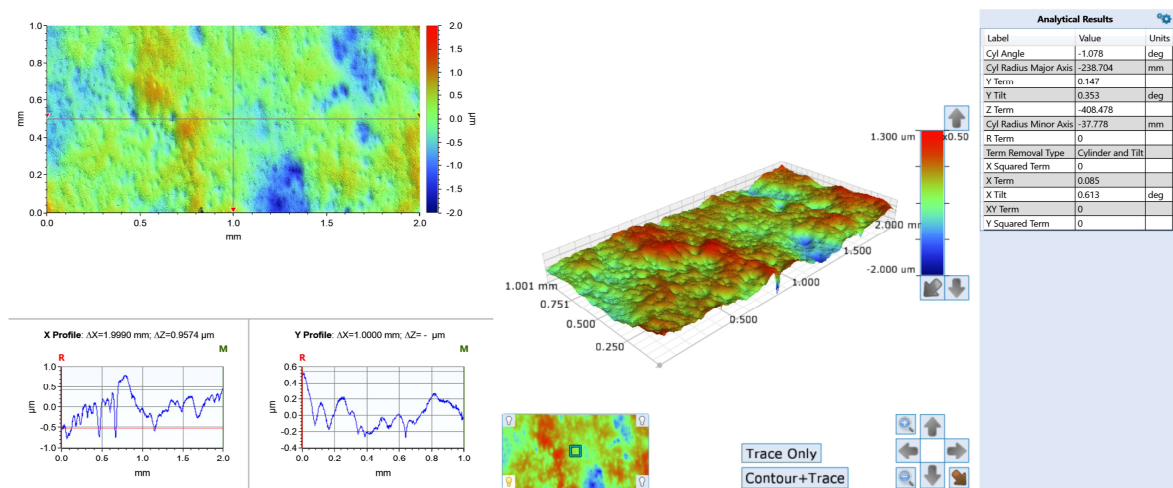


Figura 65 - P_t_3

Análise da distribuição dos tratamentos de superfície em embalagens de vidro

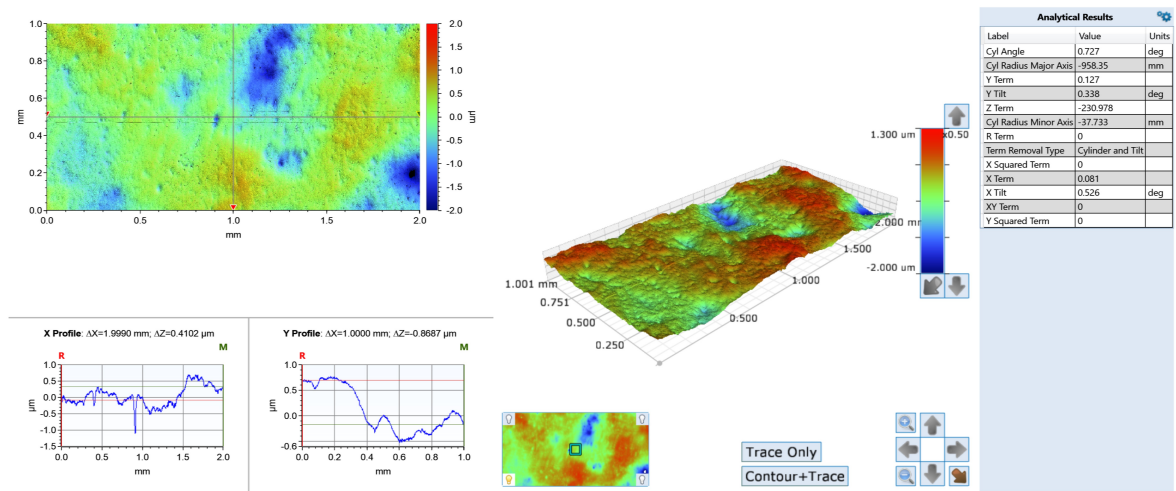


Figura 66 - P_t_4

ANEXO D: Distribuição do CTU com a altura da garrafa em 10 pontos

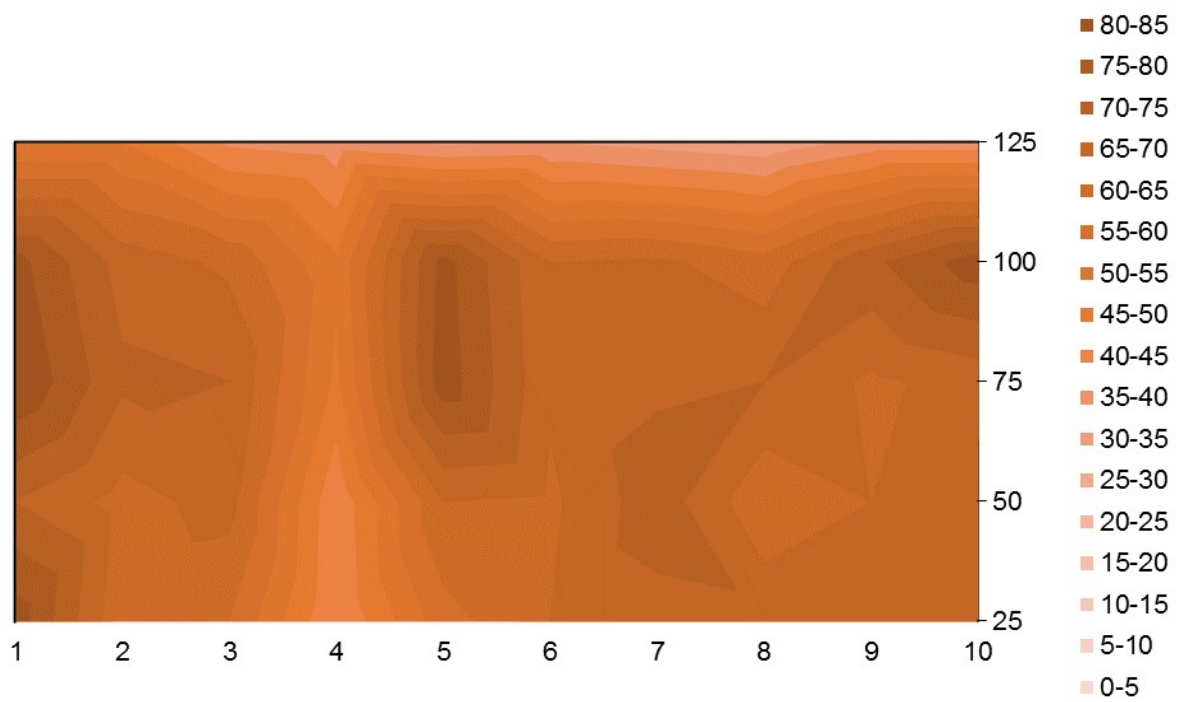


Figura 67 – Garrafa A1

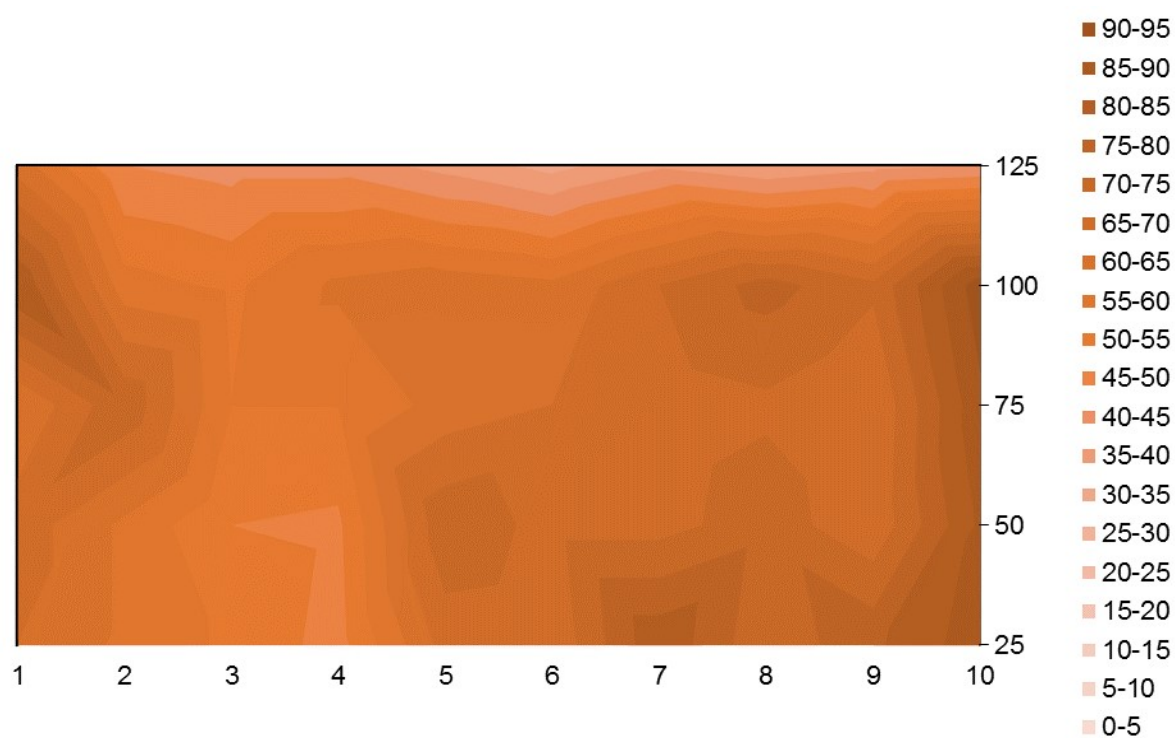


Figura 68 - Garrafa A2



Figura 69 - Garrafa A3

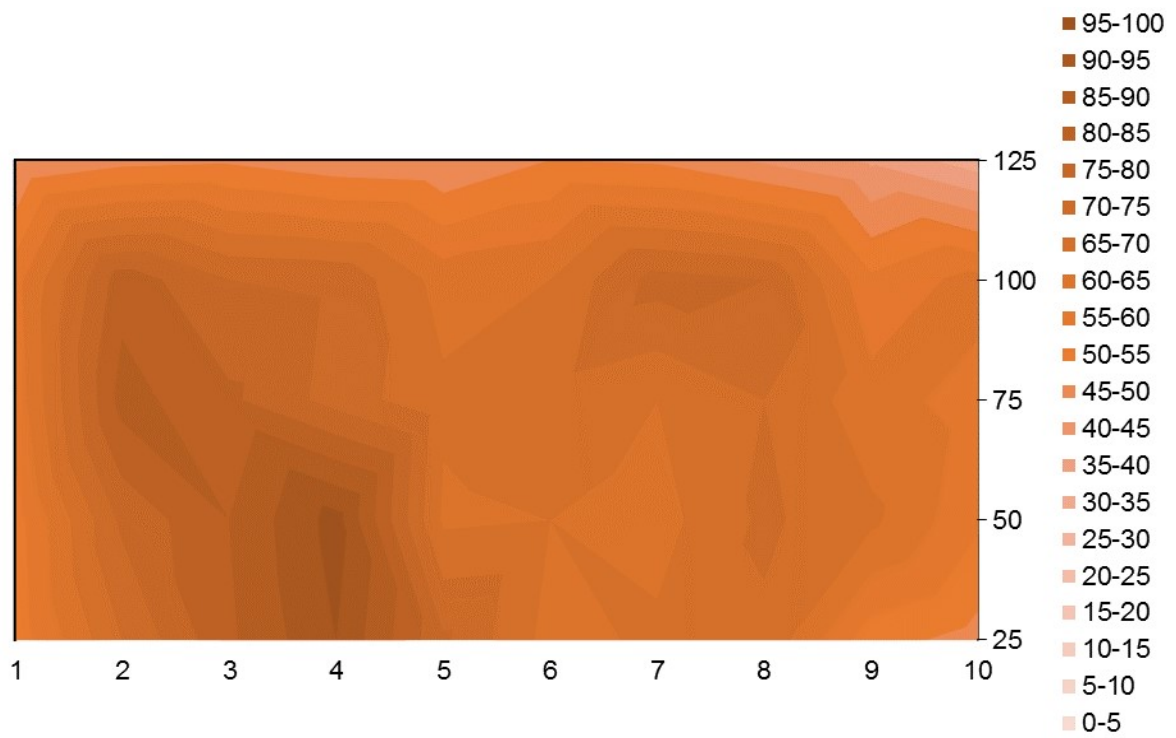


Figura 70 - Garrafa B1

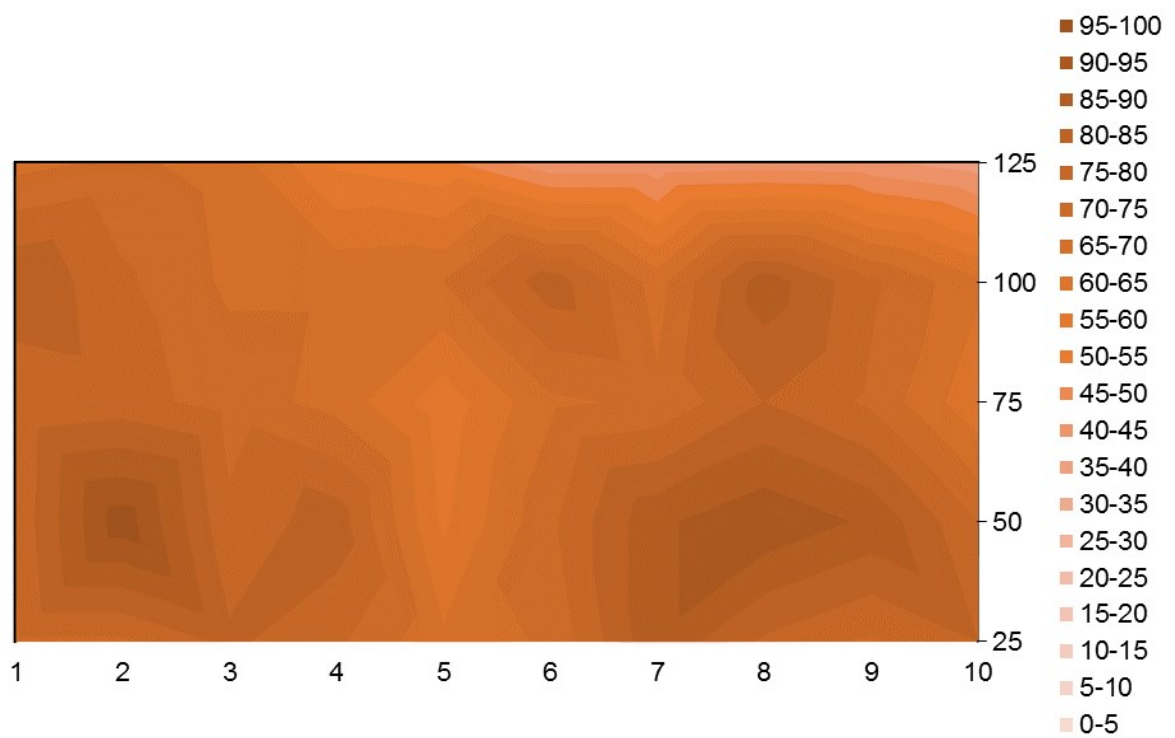


Figura 71 - Garrafa B2

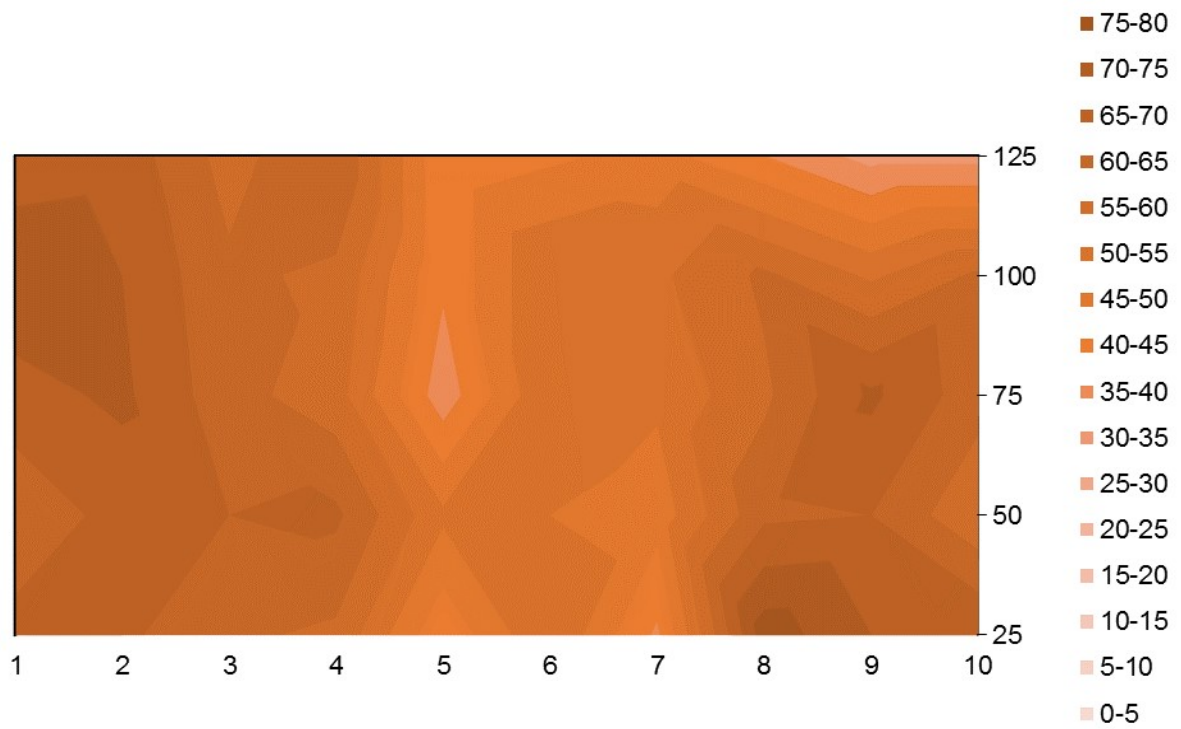


Figura 72 - Garrafa B3

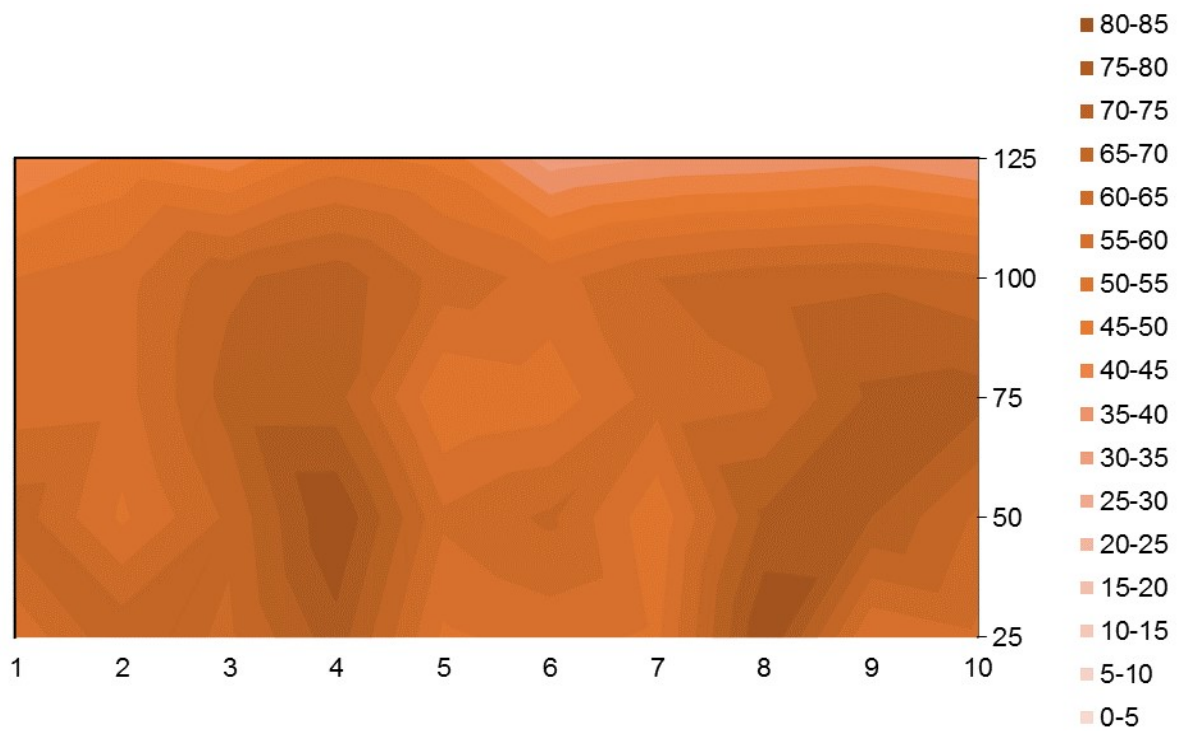


Figura 73 - Garrafa C1

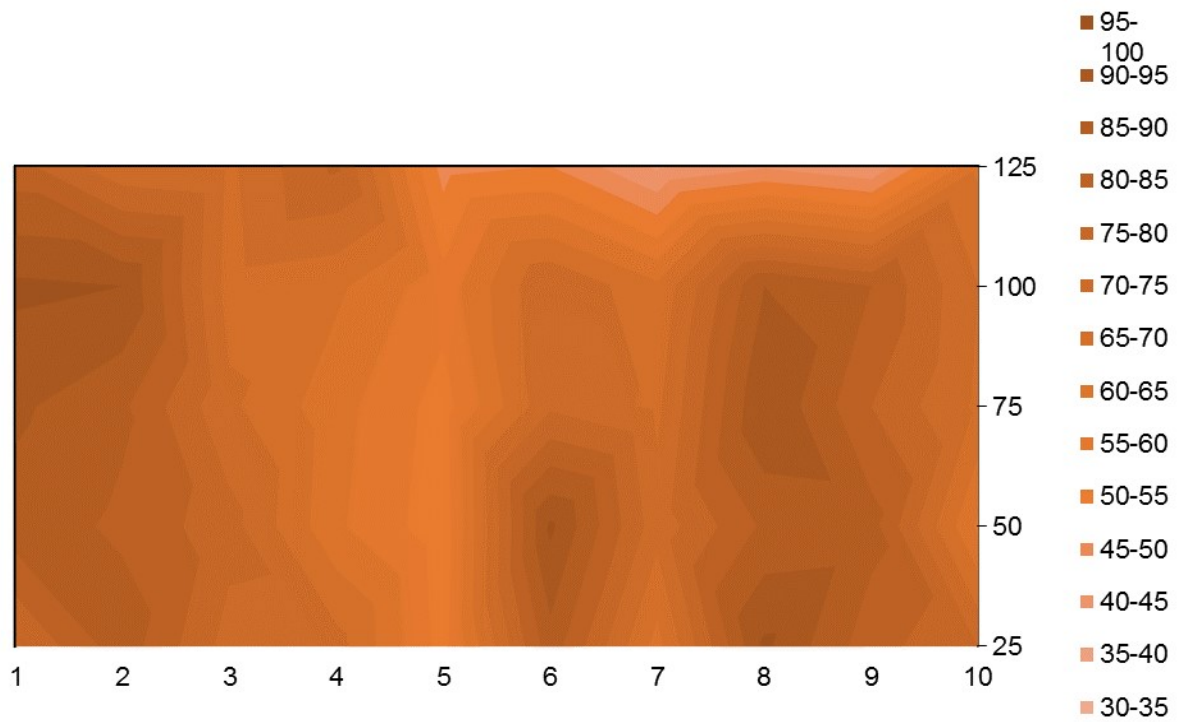


Figura 74 - Garrafa C2

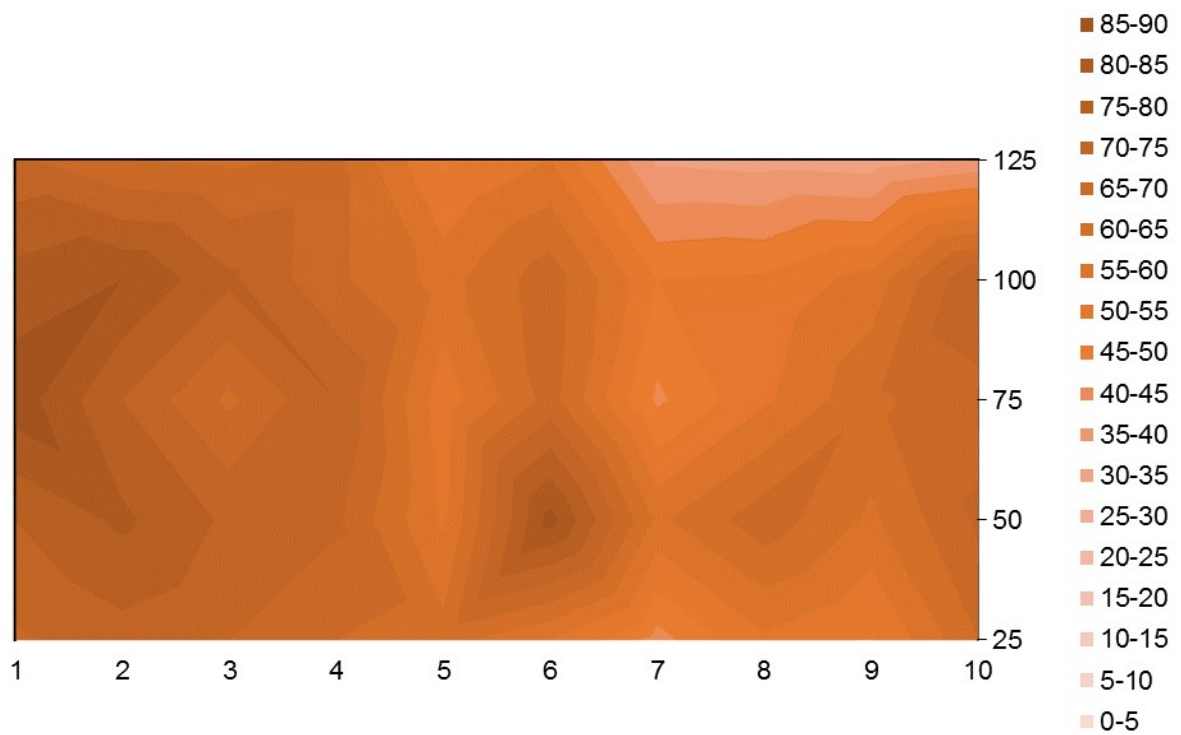


Figura 75 - Garrafa C3

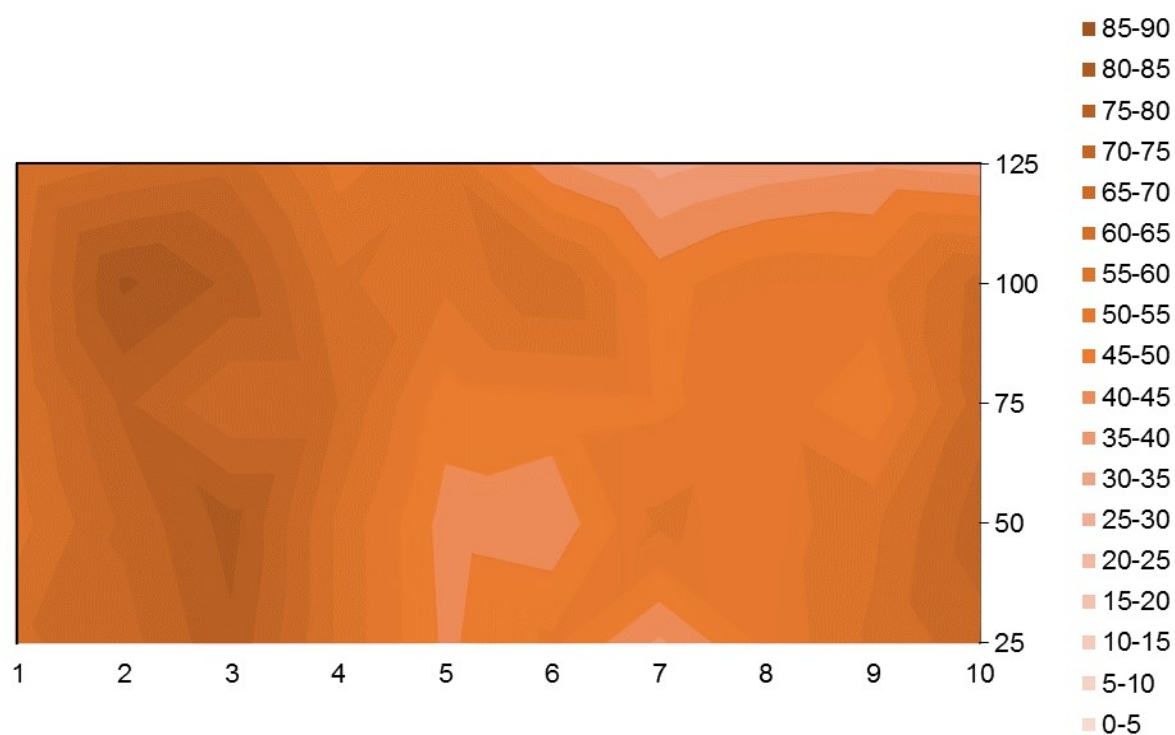


Figura 76 - Garrafa D1

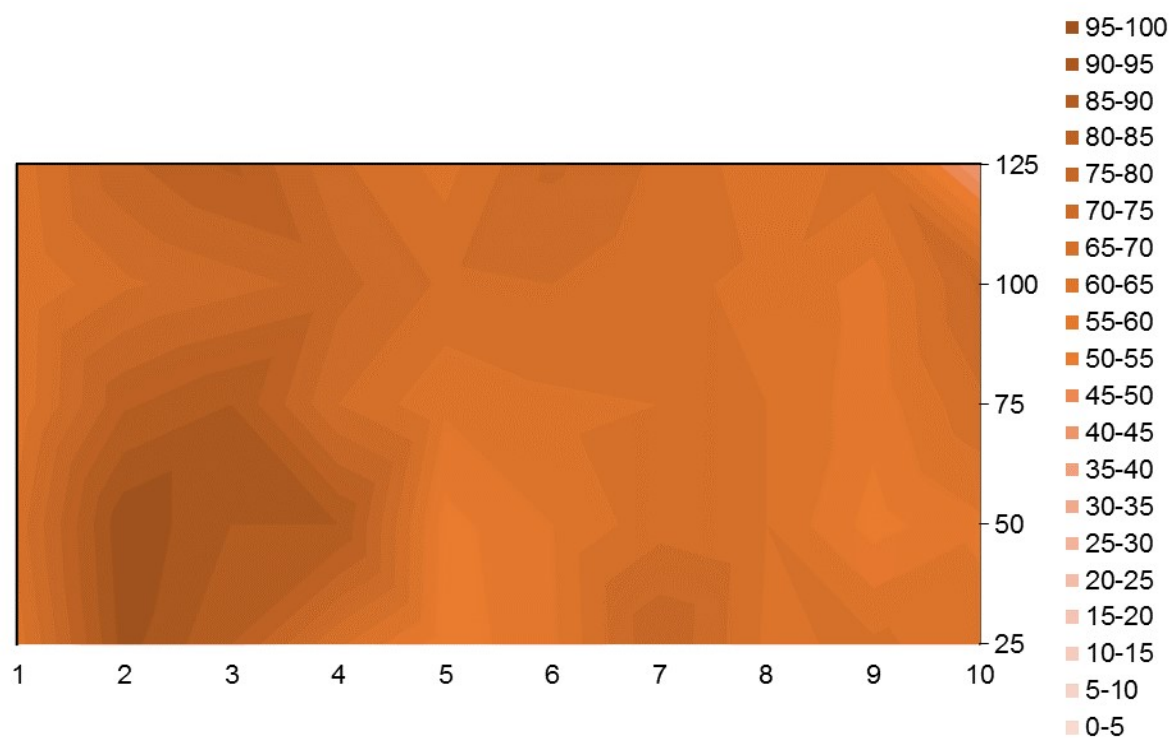


Figura 77 - Garrafa D2

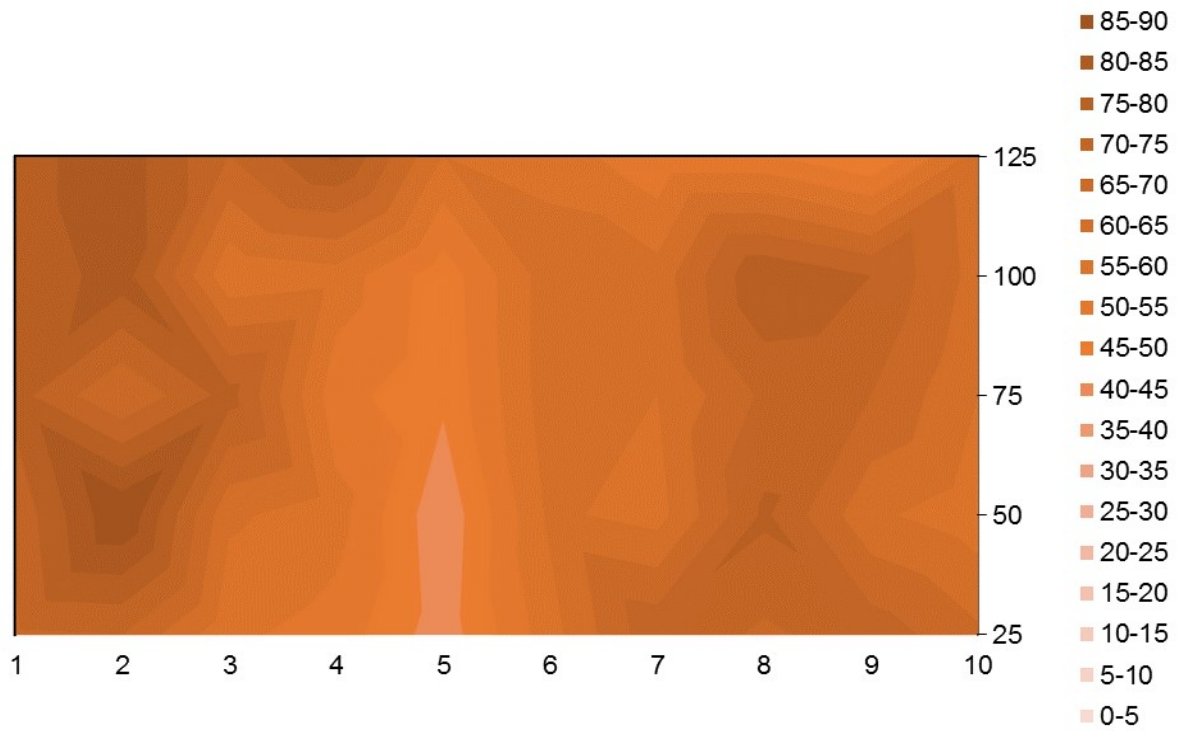


Figura 78 – Garrafa D3

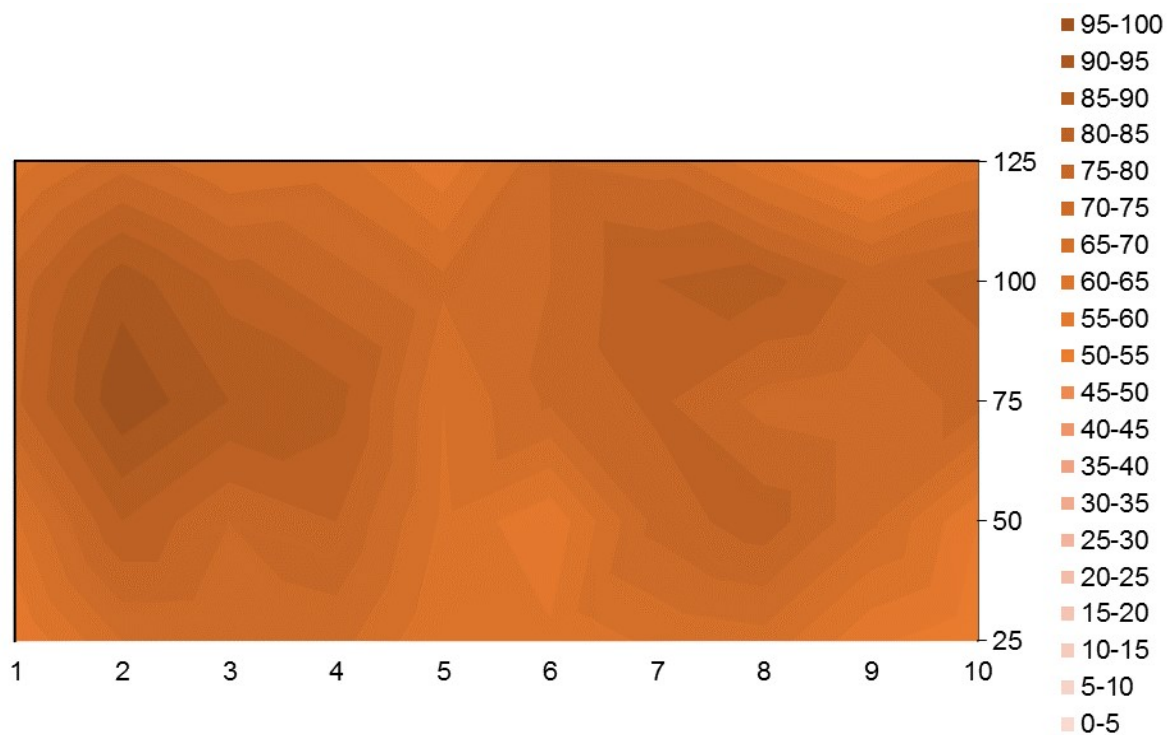


Figura 79 - Garrafa E1

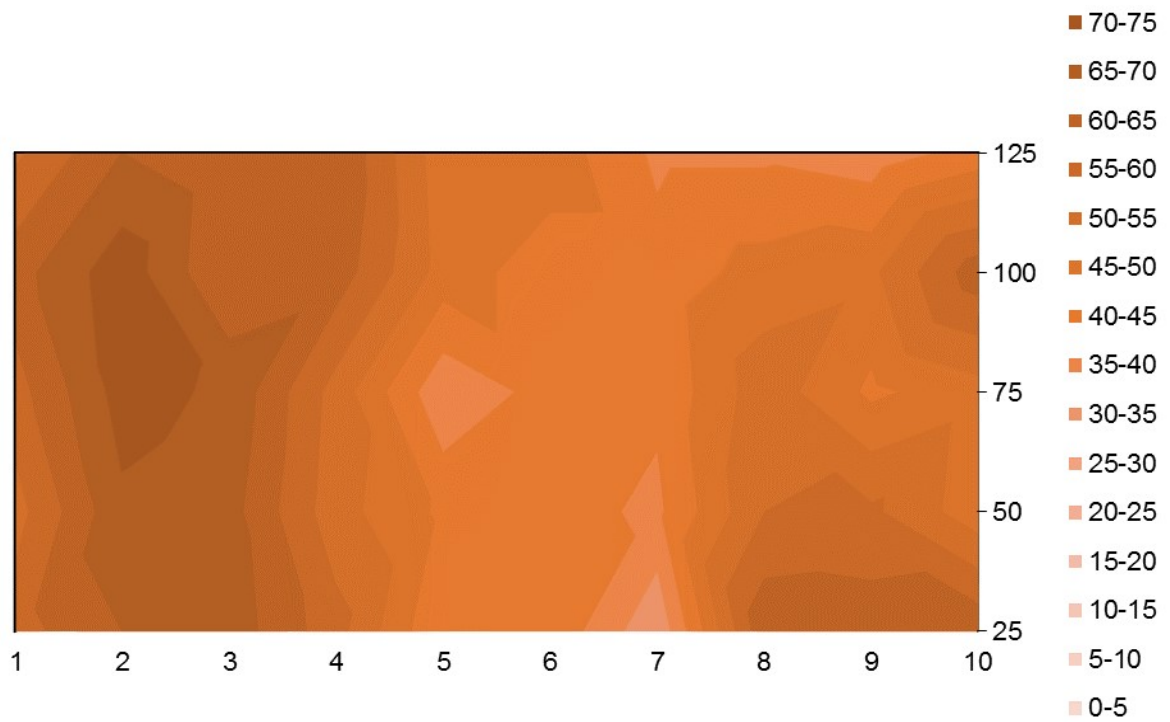


Figura 80 - Garrafa E2

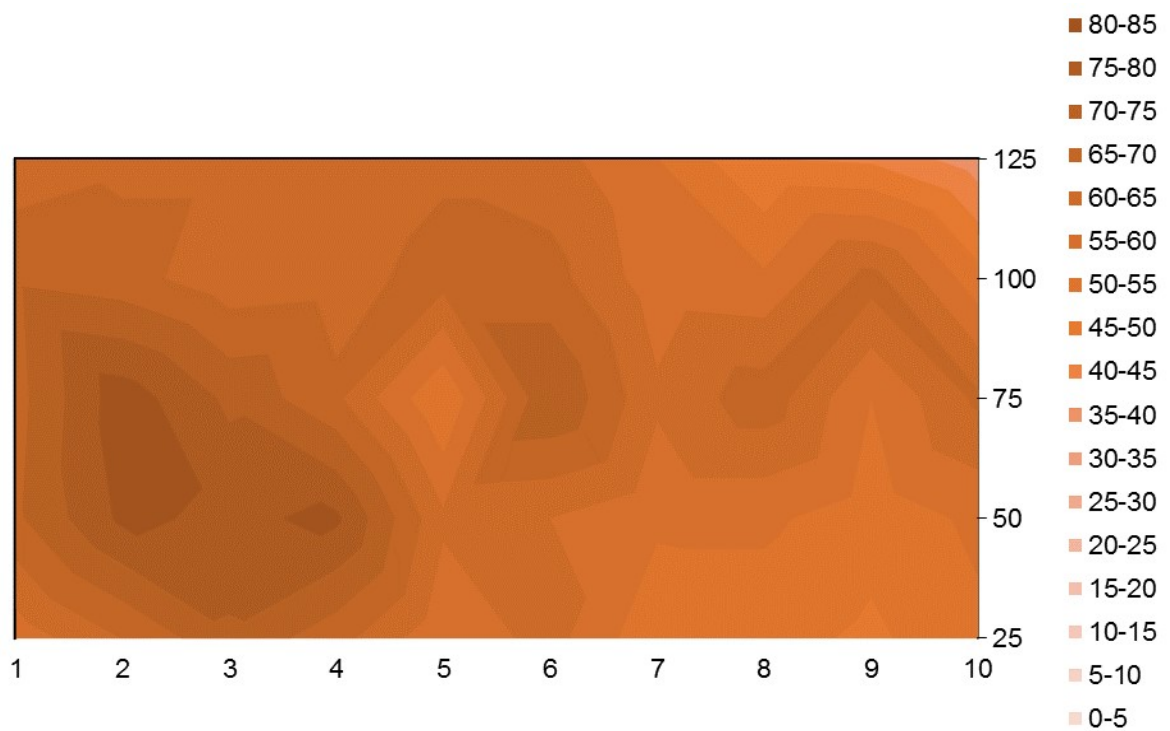


Figura 81 - Garrafa E3